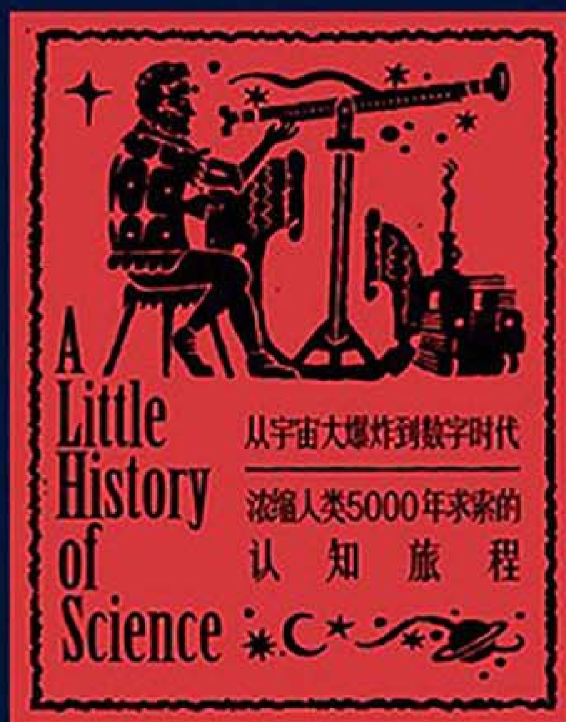
耶鲁极简科学史



[英] 威廉·拜纳姆（William Bynum）——著　高环宇——译

中信出版集团

版权信息

书名:耶鲁极简科学史

作者:[英]威廉·拜纳姆

译者:高环宇

ISBN:9787508695730

中信出版集团制作发行

第1章

追根溯源



科学是神奇的。它是人类发现世界、探知万物——包括了解我们自己的最好途径。

几千年来，人们一直对身边的世界刨根问底，问题的答案一直都在变化。科学也同样日新月异。生机勃勃的科学建立在世代积累的发现和理论的基础上，也不断取得崭新的突破和巨变。唯一不变的是人类对科学的好奇、向往和钻研。3 000多年前的人类也和我们一样在面对世界时冥思苦想，他们充满智慧，但不像现代人这样见多识广。

提起科学，大多数人想到的就是实验室里的显微镜和试管，然而这本书可不是简单地用这些东西说事。长久以来，人类一直试图利用科学结合魔法、宗教和技术去解释和控制世界。科学可以像观察清晨的日出一样简单，也可以像鉴定新的化学元素一样复杂。魔法可能是通过遥望星空预知未来，也可能是我们说的迷信，比如如果遇到黑猫挡路，你应该敬而远之。宗教可能引导你为诸神祭祀献牲，或者祈祷世界和平。技

术则是生火或组装电脑的本事。

定居在印度、中国和中东河谷的先民组成了最早应用科学、魔法、宗教和技术的人类社会。那些富饶的土地年年五谷丰登，人丁兴旺。这些社会里的人有充裕的时间执着于梦想，实践想法，最终成为某个方面的行家里手。由此一来，祭司可能就是最早的“科学家”（当然，那时并没有这个头衔）。

追根溯源，技术（实际就是“动手能力”）比科学（实际就是“知识”）更有意义。在有粮能食、有衣能穿、有饭能烹之前，你必须知道干什么、怎么干，却不必了解为什么有些浆果带毒，而有些植物可吃；不用知道如何选择取舍；你也没有必要为太阳晨升夕落这种司空见惯的现象做出解释。幸亏人类不仅认知了世界，还对世界充满了好奇，而这正是科学的核心。

相较其他的古代居民，我们更熟悉古巴比伦人（他们生活在现在的伊拉克地区），很简单的一个原因就是他们留下了泥板文书。数以万计有着6 000多年历史的泥板，给我们描绘了古巴比伦人的世界观。这些存活的历史条理清晰地记录了他们的收获、库存和财政。古代祭司倾注了大量时间记录事实和数据，他们同时身兼“科学家”的重任，负责测绘土地、丈量距离、观测天象、完善计数技能。古代祭司的很多发现沿用至今。他们和我们一样使用计数符号：前4个数都用垂直的直线表示，每到第5个数，就用一条划过对角的斜线把前4个串起来。你可能在动画片里看见过，囚犯会在监狱里用这种方式计算他们被关押了多少年。更具深远意义的是，古巴比伦人规定60秒为1分钟，60分钟为1小时，360度为一个圆周，7天算作一周。为什么60秒算作1分钟，7天算作一周？这实在没什么好解释的，选择其他数字也一样，只是后来人选择了古巴比伦人的体系，使它一直留存了下来。

古巴比伦人精通天文学，善于研究天体。他们历经数年，逐步辨认出了夜空中星星所在位置的规律。他们确信，地球居于万物中心，有一股强大的神秘力量将人类和星座联系在一起。人类在坚信地球是宇宙中

心的时候，并没有把地球当作一颗行星。他们把星空分成12份，并且分别给固定的星群（或者我们也可以称之为“星座”）命名。古巴比伦人通过一种连线的天文游戏，在很多星座里看到了物体或动物的图像，比如一架天平和一只蝎子。这就是最早的黄道十二宫图，它是专门研究星象对人类的影响的占星术的起源。在古巴比伦，占星术和天文学如影随形了几百年。现在有很多人知道自己的星座（比如我就是金牛座），还阅读报纸或杂志上的星座专栏指导自己的生活。不过，占星术不属于现代科学。

古代中东地区有很多兴盛的人类社会，古巴比伦只是其一。我们最为熟知的是公元前3500年定居在尼罗河河畔的古埃及。他们依赖单一的自然特征创造出的文明可谓空前绝后。古埃及人的生活与尼罗河息息相关。每年汛期，肥沃的淤泥滋养着他们的土地，孕育来年的丰收。埃及炎热干燥，大批珍贵的遗物流传百世，那些丰富的图片和图画文字——象形文字，让今人唏嘘赞叹，获益匪浅。在埃及先后被希腊和罗马所征服后，象形文字的读写能力就此失传，绝迹了大约2 000年。1799年，埃及北部靠近罗塞塔（Rosetta）的一个小镇里，一名法国士兵在一堆瓦砾里发现了一块圆形石碑。碑文内容分别以象形文字、希腊文和世俗体草书3种文字刻就。这块石碑被称为罗塞塔石碑，后来被运到伦敦，今天人们可以在大英博物馆一睹其风采。学者们通过已知的希腊文译出了象形文字，由此揭开了古埃及文字之谜。由此，我们终于迈出了破解古埃及人信仰和实践的第一步。这是多么伟大的飞跃啊！

古埃及的天文学和古巴比伦的类似，但是古埃及人对死后世界的关注使他们更侧重于观察天象。历法是不可或缺的，它承载着提示人们最佳耕种时间、尼罗河的泛滥时间，以及宗教庆典的功能。古埃及的一个“自然年”有360天，每周10天，一个月3周，一年12个月，每年最后再加5天以保证季节的更替。古埃及人认为宇宙是一个长方形的盒子，他们处于盒子的底部，尼罗河恰好穿过世界的中心。每年尼罗河涨水的时候就是他们一年的开始，他们也自然而然地把尼罗河和夜空中最亮的星星联系在一起，那是我们现在称之为“天狼星”（Sirius）的星星。

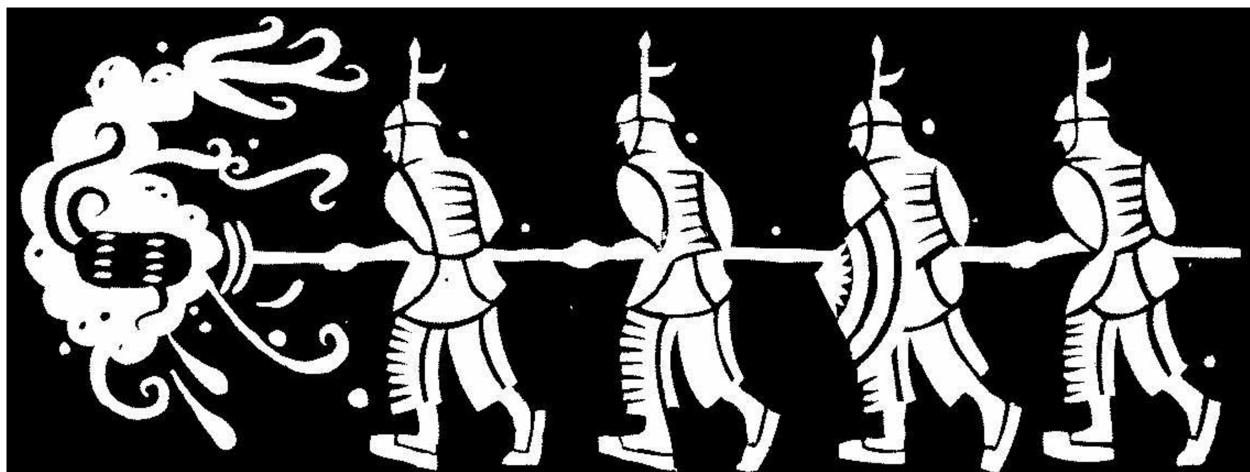
与古巴比伦一样，古埃及的统治者法老也极其看重祭司的作用。法老被敬为神，即使死后也有权享受人生。这也是他们建造金字塔——无与伦比的巨型坟墓的原因之一。法老在另一个世界等待新生，他们的亲属及其他重要人物、仆人、猫狗、家具乃至食物等被一应俱全地安置在“自己”左右。古埃及人为了保存重要人物的身体，不让他们在重生时身体腐烂，研究出了尸体防腐的方法。首先取出死者所有的内脏（他们会使用长钩将人脑掏出）并存放在特制的罐子里，然后利用化学方法把尸体的其他部分保存起来，最后裹上麻布，放入坟墓。

尸体防腐师一定对心肝肺肾了如指掌。但是很遗憾，他们没有对那些摘除的器官做出详细的描述，因而我们无法了解他们对器官的认知程度。不过，多亏幸存的医学文献记载了古埃及的医学和外科手术。当时，古埃及人普遍认为神力、魔法和自然都是导致疾病的原因。虽然，治疗师在给病人治疗方案的同时也会施用一些魔法或巫术，但是，古埃及人发明的很多治疗手段还是基于认真的医学观察的。在受伤或手术后，古埃及人用来敷伤口的药的确很好地起到了预防感染和促进伤口愈合的作用。这可比我们认识细菌早了几千年。

在这段历史时期，计数、天文和医学是最活跃的三个“科学”领域。首先是计数，比如你在种粮食和与别人交换之前，必须知道“要多少”，或者你要清楚手边是不是有足够的士兵和修建金字塔的工人。接着是天文，太阳、月亮和星星与四季交替密切相关，准确记录它们的位置是制定历法的前提。最后是医学，人在生病或受伤的时候必然要寻求帮助。但是，古代中东地区的文明把巫术、宗教、技术和科学混为一谈，而且我们很大程度上只能推测他们行为的理由，以及普通人究竟过着怎样的生活。我们很难获得关于普通人日常生活的历史资料，毕竟只有能读会写、有权有势的人才会被载入史料。同样的道理也体现在另外两个同期的古文明身上，它们分别是亚洲的中国和印度。

第2章

指南针和数字



从古巴比伦或古埃及继续东行，面向喜马拉雅山脉，无论你选择哪一边，都将踏上古代文明曾经辉煌灿烂的沃土——印度或者中国。大约5 000年前，印度河流域和黄河流域遍布着人口密集的村庄和城镇。那时的印度和中国比现在更加幅员辽阔。它们跨国越海地连接着世界贸易网络，开辟香料之路，并推动着书写和科学迈上了新的高度。科学促进贸易，财富助长科研，两者相得益彰。事实上，直到公元1500年左右，印度和中国的科学水平一直领先于欧洲，或者至少与欧洲齐头并进。古印度留给我们的是数字和对数学的热忱，而中国则贡献了纸张、火药以及航海必备的小装置——罗盘。

今天，中国是推动世界发展的生力军。中国制造的衣服、玩具和电子产品遍布全球，看看你旅游鞋上的标签就知道了。几个世纪以来，西方人对这个强大的国家充满了好奇和怀疑。中国人有自己的做事方式，他们的国度看似神秘莫测，实际上却循规蹈矩。

如今我们知道，中国一直是一个活力四射的国家，中国的科学也一直在突飞猛进。唯独在中国有一件事几百年来从未改变，那就是书写。汉字是象形文字，像一幅画，对于使用字母的西方人来说，它的感觉很奇怪。但是，如果你知道怎么破译这些图画，那么你就可以像读现代书籍一样，轻松地理解悠久的中国文献。我们必须感谢中国发明了纸张，为书写提供了便捷条件。人类所知最古老的纸张，大概可以追溯到公元150年。

治理中国从来就不是一件容易的事，其中科学功不可没。中国自公元前5世纪东周时期开始建造的长城或许可以称作“历史上最伟大的工程”。长城虽是汉族为阻挡北方游牧民族袭击而修，但同时也困住了自己。历经多个世纪的扩建、翻修，长城现在绵延8　850千米。（很多年来，人们一直认为可以从太空中看见长城，然而事与愿违：中国自己的宇航员都没能发现。）另外一个举世瞩目的工程是公元7世纪隋朝兴修的大运河。当时北部的涿郡（今北京）是一个辽阔的内陆城市，南部的余杭（今杭州）是通向世界的口岸，中国人利用自然的水路资源，在两地间挖通了一条千里运河。这些里程碑般的工程是中国能工巧匠的才智和技能的卓越见证，也是大量劳工艰辛工作的结晶。尽管那时的中国人已经发明了独轮手推车，但工人们也少不了挖掘、推车和搭建的辛苦。

中国人把宇宙看成生命体，一个依靠各种内部“动力”连接的整体。他们把原始的动力或者说是能量称作“气”。另外两种基础动力分别是“阴”和“阳”——“阴”属于雌性，代表昏暗、阴沉和潮湿；“阳”，属于雄性，象征着明媚、光热和温暖。没有任何一种东西是纯阴或纯阳的，这两种能量总是如影相随，此起彼伏。依据中国的哲学，每个人都兼有阴阳，不同的搭配比例注定了每个人的特征和行为。

中国人相信宇宙由5种元素组成：金、木、水、火和土。请不要把这些元素简单地理解成我们身边普通的水或者火，应当把它们看作组成世界和太空的基本物质。它们个性突出却环环相扣，就像变形玩具一样。比如，木克土（木铲可以挖土）、金克木、火克金、水克火、土克

水。（再想想石头剪刀布的游戏，也是中国人的发明。）这些元素结合阴阳生发出昼夜更替、四季变化、生死轮回、斗转星移的自然现象。

正是因为中国人认为世间万物都由这些元素和能量构成，彼此相通，生生不息，所以他们没有提出“原子”是物质的基本单元这一概念；而且在中国，自然哲学家也不会认为只有使用数字表达才符合“科学”的标准。不过，他们用到算术的地方很多：做买卖、记账或者称重等。16世纪后期的史料记载，中国人把小珠子穿在特制的框架中做成了算盘，不过发明算盘的时间也许更早一些。你或许也学过打算盘吧，它大大提高了加减乘除的运算速度。

中国人用数字计算时间。早在公元前1400年，他们就知道一年有365.25天，和早期的大多数文明一样，他们以月亮为依据划分月份。古人把太阳转一圈回到起点的时间算作一年，中国人也不例外。木星一类的行星和其他恒星的运动周期都吻合他们信奉的万物周而复始的理论。他们利用“太极上元”，经过繁复的推算得出一次完整的宇宙大循环所用的时间是23 639 040年。这说明宇宙太高寿了（当然，现在我们知道它比这个还要老）。同样地，中国人也思考了宇宙的结构。有些早期的中国星图证明中国人懂得如何在平面图上表现弯曲的空间。东汉时期的天文学家认为，太阳、月亮和星星受风力的作用悬浮于空旷的太空，这和古希腊认为天体固定在固体天球上的观点背道而驰，却很接近现代人们对天体的认识。中国的古代天文学家详细记录了特殊的天象，由于可以追溯到很早期的天象记录的存在，现代天文学者受益良多。

中国人相信地球是古老的，所以自然而然地认为化石是动植物死后硬化的部分。他们按照硬度和颜色分类石头。玉石尤其珍贵，雕刻师把一块一块的玉细琢成器。地震在中国时有发生，但是在公元2世纪的时候，没有人知道地震发生的原因。博学的张衡利用“悬锤摆”的原理发明了地动仪，地震时悬锤摆会发生晃动从而记录下地球的震颤。这是今天我们称之为地震仪的雏形，这种仪器通常绘制出一条直线，当它偏移时，便是地震了。

中国人懂得磁性的实用价值。他们知道通过高温加热和低温冷却可以使一块磁铁指向南、北的方向。中国人使用罗盘很久之后，西方才获知此物。罗盘既是航海工具又可以用来算命、堪舆。其实它就是一根漂在水碗里的磁针，所以通常都是“湿乎乎的”。

西方人习惯说罗盘的指针指向北，但中国人却认为罗盘的指针指向南。（当然了，指北针也指向南边，不过就是针的另一头。只要大家意见统一，选择哪一头都无所谓。）

中国人是高超的药剂师。很多顶级的药剂师都是追随老子的道士，老子生活在公元前6—前4世纪的某个时期。另外一些人则信奉孔子或佛陀。这些领袖用他们的哲学思想带动了信徒们对宇宙的研究。

在那个时代，中国人对化学的应用可谓高明。比如，他们能够蒸馏酒精和其他物质，能够炼铜。他们混合木炭、硫黄和硝酸钾制成火药，实现了化学史上的第一次爆炸，推动了烟火和武器的研制。火药可以说是化学界阴阳结合的典范：它可以是宫廷里美丽绽放的烟花，也可以是10世纪东方战场上的枪炮齐鸣。虽然欧洲人在1380年左右便对火药进行了描述，但并没有完全掌握其配方。火药的出现逐渐点燃了各地的战火，使战争变得更加残酷。

中国也有炼金术士，他们追求可以延长生命甚至永生的东西，渴望“长生不老”，但以失败告终。（我将在第9章详谈这个问题。）事实上，如果那些服用丹药的皇帝没有企图“以毒攻毒”，也许他们可以活得更久些。不过，在寻找仙药的过程中，中国人的确发现了很多治疗普通疾病的药物。和欧洲的医生一样，中国的医生也用植物提取物治病，同时也会用硫黄、汞等物质配药。中国人常用蒿类作为退烧药，他们还把提炼过的植物点燃，熏在皮肤的特定位置上，促进“生命养料”流动。这个处方和疗法写在一本1 800多年前的医书里，最近才被发现。现代实验证明它可以有效治疗疟疾——一种以高烧为特征的、死亡率极高的热带疾病。早在公元前2世纪，中国人就开始撰写医书。如今，历久弥新的中国医学遍布世界。针灸疗法——把很多根针分别刺进皮肤的某些位

置——普遍适用于辅助康复、对抗压力和减轻疼痛的治疗。它的理论依据是：身体里有很多条“气”流通的经络，利用针刺达到刺激或者疏通这些经络的目的。有时候，为了镇痛，也会把针扎进患者的身体里。就在当代中国的医生向西方同行看齐的时候，在世界各地，仍然有很多人在学习和发扬中国的传统医学。

古老的印度医学阿育吠陀[注]有异曲同工之妙。我们在公元前200年至公元600年的梵文古籍中发现了这个名字。阿育吠陀认为人体内有3种被称为“能量”（doshas）的体液：“Vata”——干、冷、轻；“Pitta”——热、酸、刺激；“Kapha”——冷、重、甜。[注]这些能量是人体正常运转的保证，它们过多或过少、比例失调或站错位置都可能导致疾病。观察病人的皮肤和号脉是印度医生诊断病情的重要依据，然后再通过药物、按摩和特殊的饮食恢复体内的平衡。印度医生用罂粟汁制出麻醉剂来缓解病痛、安抚患者。

另外一本古印度外科医学著作是《妙文集》（*Susruta*），里面详尽地描述了早期的手术。例如，外科医生会小心地用针拨开白内障患者（眼睛晶状体模糊，导致视线不清）眼球上的阴影，还会移植病人本人的皮肤去修补受损的鼻子，这或许就是最早的整形手术吧。

印度古代医学和印度教的信仰有关。约1590年，在印度落脚的一些医生以对古希腊医学的理解为基础，建立了自己的医药理论——“Yunani”（“希腊”的意思），和印度医学并驾齐驱。现在，这两种医学和我们熟悉的西医一起在印度治病救人。

印度有自己的科学传统。印度天文学家通过希腊同行托勒密（Ptolemy）的绘图和佛教僧侣从中国带回去的科学文献了解日月星空。在乌贾因有一个观测台，我们知道的最早的印度科学家之一伐罗诃密希罗（Varahamihira，生于505年）曾在那里工作，他整理了旧的天文资料并补充了自己的观测结果。过了很久，直到16世纪，德里和斋浦尔两地才建造了天文台。印度人的历法非常精准，和中国人一样，他们相信地球是古老的，并且曾经提出天体运动的周期，其中一个是4 320 000

年。印度人也曾经千辛万苦地寻找可令人长生不老的灵丹妙药，并查找炼金术的秘方。然而，印度科学对世界最大的贡献在数学领域。

我们所说的“阿拉伯”数字——最熟悉的1、2、3等，正是从印度起源，经过中东传到欧洲。关于“0”的概念也来自印度。除了我们一直沿用的数字以外，印度数学家还提出了“占位”的理论。让我们用“170”说明一下吧。“1”就是100，它在百位数的位置上；“7”就是70，是十位数；“0”则表示个位。对于现代人来说，这些已经习以为常，从来也不用分析，但如果没有占位的理论，要想写个大数就麻烦了。最著名的印度数学家是7世纪的婆罗摩笈多（Brahmagupta），他推算出测量棱柱和其他图形体积的公式；他也是把“0”当作数字的第一人，并且证明任何数乘以“0”都得“0”。又过了大约500年，另一名印度数学家婆什迦罗（Bhaskara，生于1114年）指出，任何数除以“0”都是无穷大。如果没有这些理论基础，现代数学对世界的解释就无从谈起。

在中国和印度，传统医学和西医一直分庭抗礼，然而在科学领域，却是另一番景象。印度医学家和中国医学家都在以同样的理念、手段和宗旨工作，与他们在西方世界的同行没什么两样。现在无论在亚洲还是其他地方，发源自西方的科学已成为普世的科学。

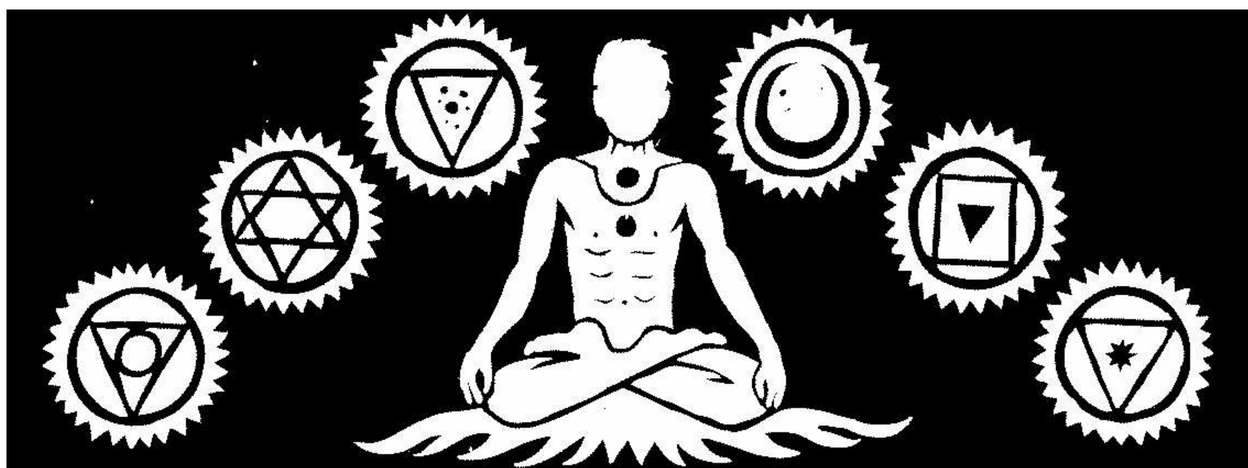
请一定记住数字来自印度，纸张源自中国。当你写下“九九乘法表”时，你就在享受着古老的东方送给人类的宝贵礼物。

---

1. 阿育吠陀（Ayurveda）一词意为生命的科学。阿育吠陀医学不仅是一门医学体系，而且代表着一种健康的生活方式。——编者注
2. 梵文中，Vata意指风为主；Pitta以火为主；Kapha以水和土为主。——译者注

第3章

原子和虚空



大约在公元前454年，希腊历史学家希罗多德（Herodotus，约公元前484—前425）游历到埃及。在尼罗河畔的底比斯，他和我们一样被金字塔和巨大的雕塑所震撼——这些雕塑足有18米高。希罗多德实在不敢相信它们居然有如此悠久的历史，因为很久以前波斯的入侵结束了埃及的辉煌。希罗多德的祖国希腊比埃及年轻且充满活力，正是这个蒸蒸日上的国家，100年后在亚历山大大帝（Alexander the Great，公元前356—前323）的带领下征服了埃及。

在希罗多德时代，地中海东部地区的思想和作品主要受希腊的影响。希腊有盲诗人荷马（Homer）的著作，讲述希腊人藏身在木马里打败特洛伊人的故事；描写了希腊将领奥德修斯成功地策划了特洛伊战争之后惊险的返乡之旅。希腊人是了不起的造船师、商人和思想家。

第一批思想家中有一个人叫泰勒斯（Thales，约公元前625—前547或前546），他是商人、天文学家和数学家，出生于土耳其海岸城市米

利都。我们没有他的手迹，只能通过后人引用的奇闻趣事对他进行想象。有一个传说是这样的：他只顾仰头观测星空，完全没有留意脚下，竟然掉进井里。还有一个故事是这样的：泰勒斯聪明绝顶，总能胜人一筹。他预料到橄榄即将丰收，于是早早地预订了所有闲置的橄榄压榨工具，并在收获的季节以高价转租。泰勒斯并不是最心不在焉的专家，也不是唯一一个靠知识挣钱的人——稍后，我们还会见识更多这样的人。

据说，泰勒斯游历埃及后给希腊带回了埃及人的数学。有关泰勒斯的传说很多，比如，有一个故事说他曾经准确地预报了日全食。（实际上，他的天文知识并没有达到可以预知日全食的程度。）不过，泰勒斯的确尽心尽力地解释了很多自然现象，比如尼罗河的洪水肥沃了土壤，地壳内部水温过高导致地震。在泰勒斯看来，水是最重要的元素，他把地球画成一个漂浮在茫茫海洋上的圆盘。我们对此会觉得很好笑，但这恰恰说明泰勒斯在努力地用理性解释世界，而不是用神学——埃及人认为尼罗河泛滥是神的旨意。

阿那克西曼德（Anaximander，约公元前610—前546）同样来自米利都，但和泰勒斯不同，他坚信宇宙中最重要的元素是火。出生在西西里的恩培多克勒（Empedocles，约公元前490—前430）则认为宇宙应该存在四源：气、土、火、水。西方人更熟悉这种说法，因为一直到中世纪末期，差不多2 000年的时间里，思想家们都把它当作一个不争的事实。

不争并不代表所有人都接受“四元素”说。在希腊，后来在罗马，有一群被称作原子论者的哲学家，他们认为世界其实是由微小的原子组成的。其中最著名的是生活在公元前420年左右的德谟克利特[注]。我们从其他作者的引述中零星拼凑出他的理论：宇宙中有无数多的原子，并且自古有之。原子不能被分解，也不会被破坏。虽然它们小得不能被看见，但德谟克利特确信它们形状各异，大小不一，这就是为什么万物皆由原子构成却有不同的味道、结构和颜色的原因。不过，只有经过人类的品尝、感觉和关注，这些稍大一点儿的东西才算得上存在。事实上，

德谟克利特主张一切都是“原子和虚空”，我们现在则称之为物质和空间。

并不是所有的原子论都这么通俗易懂。德谟克利特和他的支持者们通过反复实验，观察到了生物的“进化”。这种理论有一个滑稽的版本：以前，动植物的不同部位可以天马行空地自由组合——象鼻子贴在鱼的身上；玫瑰花瓣长在土豆上等——最终搭配成我们今天所见的样子。也可以这样解释这个理论：曾经有一条狗腿偶然长在了猫的身上，于是产生了一种新动物，但是它不能活下来，所以就没有出现长着狗腿的猫。过了一段时间，所有的狗腿都长在了狗的身上。谢天谢地——所有的人腿也都长在了人的身上。（古希腊另一个有关进化的说法似乎靠谱儿些，不过稍微有点儿恶心：一切生物都是由非常古老的黏液逐渐进化而成的。）

原子论只说芸芸众生天作而成，既没有明确宇宙的最终意义，也没有任何伟大的设想，所以多数人并不看好它。希腊的哲学主流是追求“意义”“真理”和“完美”，在这种情况下，原子论的确前景暗淡。和德谟克利特等原子论者同时代的希腊人一定完整地听到了他们的争论，我们却只能从后来的哲学家的引述和讨论中获知一二。还有一位原子论者生活在罗马时期，他就是卢克莱修（Lucretius，约公元前99—前55），优美的哲学长诗《物性论》（*De rerum natura*）的作者。在诗里，卢克莱修用原子理论阐述了宇宙、地球和世间万物，包括人类社会的进化。

我们知道一长串古希腊科学家和数学家的名字及成就，他们足足跨过了1 000年。在最伟大的一群人里，有一个人的名字叫亚里士多德（Aristotle）。他的自然论在他死后依然长期占据主导地位。（我们将在第5章对他进行详细介绍。）亚里士多德之后，古希腊的“三圣人”为推动科学的发展做出了巨大贡献。

欧几里得（Euclid，约公元前330—前260）是“三圣人”之一。他不是几何学（巴比伦人对此颇为擅长）的创始人，但是他把公设、公理和求证收集成册，编撰出了一本几何学的教科书。几何是解决空间问题的

实用数学，包括点、线、面和体积。欧几里得提到了平行线永不相交、三角形内角和是180度等概念。他的著作《几何原本》（*Elements of Geometry*）风靡整个欧洲。说不定哪天你也会学习到他的“平面几何”，我希望到那时，你也能被它的清晰简洁之美所折服。

第二位“三圣人”是埃拉托色尼（Eratosthenes，约公元前276—前195）。他用简单而有效的几何方法计算了地球的周长，他知道夏至那天太阳正好位于西恩纳（Syene）的天顶。那一天，埃拉托色尼到距离西恩纳以北5 000个赛跑场[注]远的亚历山大城测量了太阳的角度，他曾经在亚历山大图书馆任馆长一职。得出数据之后，他利用几何学计算出地球大概是250 000个赛跑场那么大的一个圈。就此结束了吗？他的预测和我们现在知道的准确数字24 901.55英里（赤道周长）相差无几。请注意，埃拉托色尼相信地球是圆的。人们并没有一直认为地球是扁平的，航海员可能会从其边缘掉下去。这个认识比克里斯托弗·哥伦布（Christopher Columbus）的美洲之旅要早得多。

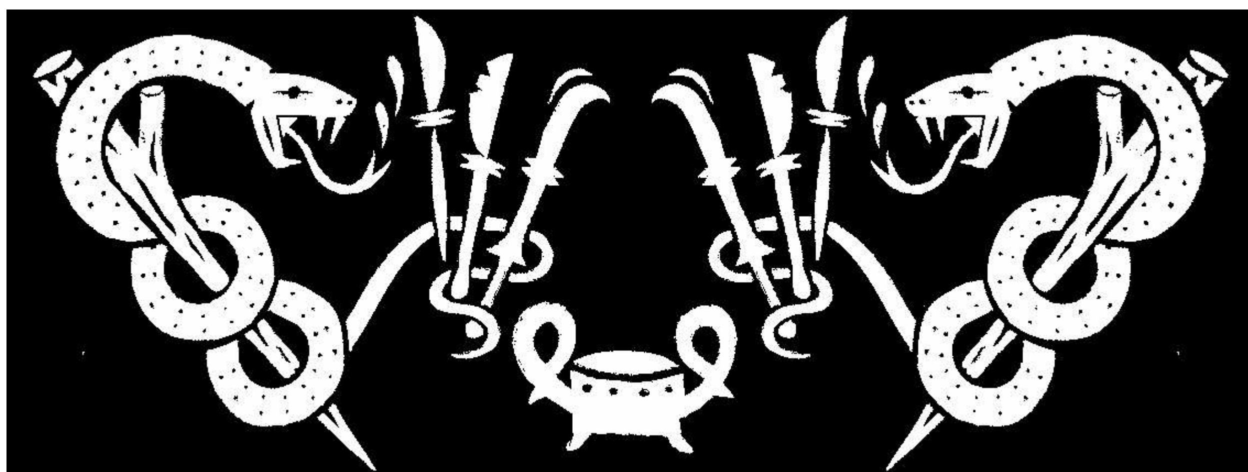
“三圣人”中的最后一位是克劳迪亚斯·托勒密（Claudius Ptolemy，约100—178）。他也在埃及北部亚历山大大帝建造的亚历山大城工作过。他像很多古代科学家一样兴趣广泛。他的文章涉及音乐、地理、自然和光等主题，不过使他名垂青史的作品却是以阿拉伯语命名的《天文学大成》（*Almagest*）。在此书中，托勒密不但归纳了诸多希腊天文学家的研究，而且补充了自己的观察，包括星图、日月星辰的运动和宇宙结构。和其他同时代的人一样，他推测地球是宇宙的中心，日、月、恒星和行星都围绕地球转动。托勒密也是数学高手，经过几次小小的修正之后，他已经可以计算曾经备受关注的行星运动。

太阳围绕地球转动的理论很难自圆其说，事实也并非如此。但是，托勒密的著作是中世纪欧洲和阿拉伯天文学家的必读之书，也是第一批被翻译成阿拉伯语的作品，随后还被译成拉丁语，备受追捧。托勒密和希波克拉底、亚里士多德、盖伦享有同样高的声誉。我们在后面章节将分别介绍另外三位。

1. 德谟克利特（Democritus，约公元前460—前370或前356），古希腊伟大的唯物主义哲学家，原子唯物论学说的创始人之一。——编者注
2. “赛跑场”（stade）是希腊的长度单位，10个跑马场相当于1英里。1英里约合1.6千米。——编者注

第4章

医学之父：希波克拉底



如果你去看病，别忘记问医生在毕业典礼上有没有宣读过希波克拉底誓言。这个誓词有2 000多年的历史了，很多医学院延续着让学生背诵它的传统，有些医学院则放弃了这一传统。但是，希波克拉底誓言仍然值得我们研究。很快，你就会明白它的意义所在了。

虽然，这个誓言是以希波克拉底[注]命名的，但并非完全出自他之手。事实上，他署名的论文（专题分册）只有60篇左右。我们对希波克拉底所知甚少。约公元前460年，希波克拉底出生在科斯岛，离现在的土耳其不远。为了谋生，他行医授课。他的两个儿子和女婿可能也是医生。古往今来，某个家族代代行医的例子层出不穷，涌现出了不少医学世家。

《希波克拉底文集》收录了250多年间众多的个人作品。书中论文各抒己见，触点丰富——包括诊治疾病、治疗断骨和脱臼、应对时疫、

医疗保健、合理膳食，以及环境对健康的影响等。这些文章不但有助于行医治病，而且有助于协调医生与病患以及同行之间的关系。简而言之，它在当时是包罗万象的医学百科。

这些文集题材广博、引人注目，它的写作年代更是令人感叹。要知道，希波克拉底是苏格拉底、柏拉图、亚里士多德的前辈，生活在偏僻的科斯岛上。那时候没有印刷术，所有的文字都是一笔一笔写在羊皮纸、兽皮、黏土等材料上面，然后再传承下去。但是，岁月使墨迹褪色，加上战争和气候的破坏，还有昆虫侵蚀，我们现在只能读到由后代的爱好者抄写的版本。这些抄本越多，得以幸存于世的文章就越多。

《希波克拉底文集》奠定了西方医学的基础，希波克拉底本人也是独树一帜的人物。几百年来，医者一直遵循着三条基本原则。第一条是现代医学的根基：坚信病因是“自然”因素，必须做出理性的解释。在希波克拉底之前，希腊人和附近的岛民都认为疾病是超自然的原因所致。如果人们冒犯了神灵，或者是有魔法的人念了咒语都会招来疾病。如果不幸患上由巫师、魔法和圣灵带来的疾病，那么你最好求助于牧师或仙术来找到病因和最佳治疗方案。即使是今天，依然有不少人相信神学疗法，信仰治疗仍有一席之地。

希波克拉底的追随者可不是信仰治疗师，他们是真正的医生，相信疾病的普遍性和自然属性。这个观点在《神圣的疾病》（*On the Sacred Disease*）中表述得一清二楚。这篇短文论述的是癫痫，现在很常见的一种失常表现——众所周知，亚历山大大帝和恺撒大帝都患有这种病。癫痫患者会突然发作，失去意识、肌肉抽搐、身体扭曲，有时可能失禁。慢慢地，发作结束，他们恢复意识，得以重新控制自己的身体。现在，人们把癫痫发作看作平常事，甚至只当作一个插曲。但是，眼睁睁看着病人发作还是太触目惊心，所以古希腊人认为是神灵制造了这种疯狂的无厘头的发作，并称之为“神圣的疾病”。

《神圣的疾病》的作者对古希腊人的这种说法并不认同，文中著名的开头开宗明义地表明了作者的态度：“我不相信‘神圣的疾病’比其他的

疾病更神圣、更有神意。相反，我相信它有明显的症状和明确的病因。但是，因为它和其他病症完全不同，便一直被那些大惊小怪又愚昧无知的人当作神仙附体。”作者认为癫痫是大脑淤堵的结果，像医学和科学界的多数理论一样，它也在发展中被更准确的结论所取代。但是，不容置疑的是——不能因为某种疾病的独特性、神秘性，或者仅仅因为其难以解释，就断言它是超自然的杰作——这是科学与时俱进的指导原则。我们现在可能不理解，但通过耐心艰苦的工作，我们迟早会明白的。希波克拉底为我们留下了许多永无休止的争论，这不过是其中之一。

希波克拉底的第二个理论是健康和疾病都与“体液”有关。（曾经有一种解释认为携带好体液的人是健康的，携带坏体液的人则是不健康的。）希波克拉底的女婿写的《人的本质》（*On the Nature of Man*）一文入木三分地表达了这个观点。希波克拉底的其他文章也提到过两种体液——黏液和黄胆汁——是病因。《人的本质》补充了另外两种体液：血液和黑胆汁。作者认为，这四种体液对人类的健康起到了关键作用，如果体液失调（某一种或几种过多或过少的状态）则必然招致疾病。你生病的时候一定见过自己的体液：发烧的时候你会出汗；感冒或呼吸道感染的时候，你会流鼻涕生痰；胃不舒服的时候，你会反胃呕吐；向下走的腹泻；还有擦伤和割伤引起的出血。曾经在古希腊流行的黄疸病就是由包括疟疾在内的多种疾病侵犯多个产生体液的器官造成的，症状表现为皮肤变黄，不过这种病现在已经不常见了。

希波克拉底把器官和体液进行了一一对应：血液对应心脏，黄胆汁对应肝脏，黑胆汁对应脾脏，黏液对应大脑。《神圣的疾病》的作者认为，癫痫是脑部的黏液堵塞的反应。若是患上类似于感冒或者腹泻一类的疾病，体液的变化显而易见。每一种体液都有自己的属性：血液湿热、黏液湿冷、黄胆汁干热、黑胆汁干冷。这些特征在我们生病的时候暴露无遗：伤口流血红肿的时候是热的；但是当我们感冒的时候就会感觉冷，甚至打寒战。（盖伦在600多年后发展了希波克拉底的理论，同样以冷、热、干、湿四种元素对我们的饮食和药物做出分类。）

对所有病人最好的疗法就是恢复体液的平衡。说易行难，希波克拉底重建病人“自然”状态的实践过程远比循规蹈矩地治病复杂得多。不同的病人有不同的体液平衡点，所以医生只有全面了解病人，包括病人的居住环境、饮食结构、谋生手段，才能判断病情，开出处方。我们在生病时最想知道的便是病情的发展趋势和治疗方法，而希波克拉底的追随者们对此谙熟于心，这使得他们声名远扬，求医者络绎不绝。

希波克拉底学派将他们的观察结果和临床经验传授给门生（大部分是他的儿子和女婿）。学生又把这些经历以格言的形式言简意赅地记录下来编成《箴言》（*Aphorisms*），它成为后世医生最为熟知的希波克拉底著作之一。

希波克拉底有关健康和疾病的第三个重要理论被总结为拉丁文“vis medicatrix naturae”，意思是“自然治愈的能力”。希波克拉底及其追随者认为，生病时体液的运动是身体努力自愈的过程。所以，出汗、咳痰、呕吐和流脓都被看作身体的抗争，或者叫作体液的“料理”（他们使用了多处与厨艺有关的借喻）。身体以这些方式清除、协调、净化那些引起疾病的多余体液。当然医生的任务就是为这个自然的过程助一臂之力。当然，医生并非自然的奴仆，相反，他们在对病情发展细致入微地观察后，成为疾病的控制者。很多年以后，有位医生创造了“自限性疾病”一词对此进行描述。现在我们都知道，很多疾病是可以自行痊愈的。医生有时自嘲道，如果他们参与，病可能一周会好，而如果没有他们，病人过7天也能康复。希波克拉底对这个说法一定投赞同票。

希波克拉底留给我们的除了有关医药、外科、保健和流行病学的著作以外，还有激励了世代医者的希波克拉底誓言。它其中有一部分是关于年轻学生和导师之间的关系，还有医生间的相处之道，大部分则是医生行医时的行为规范，比如医生永远不能凌驾于患者之上、不可以泄露病人隐私、不能毒害病患。所有这些至今仍然是行医的准则。不过，流传千古最著名的那条准则是：我愿尽余之能力及判断力所及；我将检点吾身，不做各种害人及恶劣行为。“不伤害患者”应该是每一位医生的信

条。

---

1. 希波克拉底（Hippocrates，公元前460—前370）：古希腊医生，被西方尊为“医学之父”，西方医学奠基人。提出“体液学说”，他的医学观点对以后西方医学的发展有巨大影响。——编者注

第5章

无所不知的亚里士多德



亚里士多德注说："求知是人类的本性。"你可能遇到过对知识如饥似渴的人，也可能碰到过自以为什么都了解的"百事通"，对什么都了无兴趣，而亚里士多德格外珍视好奇心。他期盼人人渴求知识、了解自己和世界。但是很不幸，我们知道事实总是不尽如人意。

亚里士多德一生孜孜以学、谆谆育人。公元前384年，他出生在色雷斯的斯塔吉拉（今希腊哈尔基季基）。亚里士多德的父亲是一位医生，在他10岁左右的时候，普罗克森努斯（Proxenus）成为他的监护人和老师。大约17岁时，亚里士多德前往雅典著名的柏拉图学园求学，并在那里度过了20年。虽然他了解自然的方式与柏拉图完全不同，但他对老师尊敬有加，公元前347年柏拉图去世以后，亚里士多德才着手写作自己的书籍。柏拉图提出了很多让现代哲学家也百思不得其解的问题，比如，什么是美的本质？什么是真理，什么是知识？如何做一个好人？社会的最佳结构是什么？谁在制定我们的生活法则？经验告诉我们的是

世界的“本来面目”吗？所以有人说，西方哲学史不过是柏拉图思想的脚注而已。

亚里士多德也痴迷于这些哲学问题，不过他尝试解答的方式被我们称为“科学”。和柏拉图一样，亚里士多德也是哲学家，但他是理性的哲学家，我们称他为“科学家”。他最感兴趣的哲学分支是逻辑学——怎样条理清晰地思考。世间万物令亚里士多德目不暇接，兴致盎然，他关注大地星空，也钻研自然的更替。

现存于世的亚里士多德著作所剩无几，好在我们幸运地发现了一些他的演讲笔记。柏拉图死后，雅典的外乡人亚里士多德出于安全考虑离开雅典前往阿索斯（今土耳其）。他在那里生活了几年，建立了一所学校，并娶了地方官员的女儿。妻子去世后，亚里士多德和一个女奴共同生活并且有了儿子尼克马可。亚里士多德在阿索斯开始研究生物学，后来搬到莱斯沃斯岛继续钻研。公元前343年，他得到了一份重要的工作：到马其顿王国（现在是希腊北面的独立国家）担任亚历山大的老师。亚里士多德原本希望促使这个学生转变成一个理性果敢的统治者，但是他没有成功。不过，亚历山大逐步统治了大部分他所知道的国家，包括雅典，亚里士多德得以平安重返雅典。他没有再回柏拉图学园，而是在雅典城外创建了一所新学校。那里有一个开放的走廊（希腊语的意思是“踱步”或者“不停地走来走去”），所以他的追随者也被称为“逍遥派学者”。“不停地走来走去”恰好描述了亚里士多德频繁地从一个地方到另一个地方的状态，这一说法非常形象。亚历山大死后，失去了依靠的亚里士多德只好搬到希腊的卡尔基斯，这是他最后一次搬家，不久后他逝于该地。

作为科学家，亚里士多德一直饱受争议。他是一名字面意义上的哲学家，一个追求智慧的人[注]；然而他穷其一生探知世界，所行之道正是我们公认的科学之路。他对地球、天体和生物的研究成功影响了人类1 500多年的认知。他和盖伦一起超越了所有的古代思想家。他不是不切实际的思想家，事实上，他是以历史为基础、真正在物质世界里通过实

践寻找答案的人。

我们可以把亚里士多德研究的科学分成三部分：活着的世界（动植物，包括人类）；变化或运动的本质，大部分内容见于他的著作《物理学》（*Physics*）里；天体结构，地球、太阳、月亮、星星和其他天体之间的关系。

亚里士多德花了大量精力研究动植物相互依赖、相互影响的关系。他想知道它们在出生前、孵化前或是萌芽前是如何变化生长的。虽然他没有显微镜，但他拥有敏锐的观察力。他活灵活现地描述了小鸡破壳前的发育过程。亚里士多德准备了一批新下的鸡蛋，每天敲碎一个进行观察。他看到的第一个生命体征是一个不起眼的小血点在小鸡心脏的位置跳动。由此，亚里士多德相信心脏是动物的重要器官，是情感的中心，也就是我们说的精神世界。柏拉图（还有希波克拉底）把这个功能归于大脑，而他们才是对的。但是，当我们害怕、紧张或者恋爱的时候，我们的心跳都会加快，所以亚里士多德的理论也不是无稽之谈。他把类似于人类的高级动物的功能归于“灵魂”的运作，“灵魂”有不同的特征和职能。人类的灵魂有六大主职：滋养与繁殖、知觉、欲望、运动、想象、理智。

所有的生物或多或少具备这些能力。比如，植物可以生长繁衍；昆虫，例如蚂蚁，既能活动又能感知。其他大一点儿的、智能高一些的动物有更复杂的功能。但是，亚里士多德认为只有人拥有理智——能够思考、分析和做出决断。亚里士多德设计了一架能安置所有生物的天梯——自然链（亦可称为“自然的尺度”或“存在巨链”），其最底层是简单的植物，逐层升级，人类不容置疑地位居顶端。漫长的岁月中一直有研究自然，尤其是研究植物和动物的自然学家专注于这个理论。你要是想知道究竟，就到后面的章节去寻找答案吧。

亚里士多德找到了一个解释植物不同部分的作用和动物不同部位的功能的好办法。例如，根据树叶、翅膀、胃或者肾脏，他推测生物每部分的结构都带有预设的特殊功能。比如，为了飞翔而生出翅膀；为了消

化长出胃；为排尿生出肾。这种推理被称作“目的论”（teleological）：“目的”就是最终的意思，关注点在于“什么样”或者“干什么”。比如一个杯子或一双鞋，它们有各自的形状，那是因为制作者有明确的目的：盛放液体以便饮用，或者保护双脚便于行走。后面的章节还会提到“目的论”，它不仅用于解释动植物各部分分工不同的原因，还将带你走进更广阔的物质世界。

植物发芽、动物出生，它们成长、死亡；四季轮回；掉的东西总会落到地上，这都是亚里士多德试图解释的现象。有两个理论对他而言意义深远，一个是“潜在性”，另一个是“现实性”。老师和家长可能要求你激发潜能——通常是让你在考试时发挥出最好水平，或者竞赛时跑出最快的速度。这只是亚里士多德理论的一部分，他看到了事物中各式各样的潜在性。从他的视角看，一堆砖有成为房子的潜力，而石头有变成雕像的潜力。建筑和雕刻把这些死气沉沉的物体的潜能转换为成品，或者说是“现实性”。“现实性”是潜在性的终极目标，也是有潜在性的物体找到了所谓的“自然状态”。比如，亚里士多德认为东西像苹果落地一样掉下来，就是要到地面上寻找它们的“自然状态”。苹果不可能长出翅膀飞行，因为它和其他万物一样都在寻找大地，况且会飞的苹果太不符合自然规律了。落地的苹果继续变化——如果没人把它捡起来吃掉，它就会腐烂，这也是一个苹果生死的必然环节。但是，苹果通过落地成功地获得了某种“现实性”。即便是冲上云霄的小鸟，也会重返大地。

如果一切的“自然”归宿都在坚实的大地上，那么日月星辰又该如何解释呢？难道它们就像苹果挂在树上或者巨石躺在山崖上一样高高地待在上面了？可是，它们从来没有砸向地球啊，真是太幸运了。亚里士多德给出的答案很简单。月亮之下，变化无常。世界是由4种元素组成的：火、气、土和水。（它们的特征分别是：干热的火，湿热的气，干冷的土和湿冷的水。）天体永不停歇地做着完美的圆周运动。亚里士多德的宇宙观有固定的空间，但是没有固定的时间。太阳、月亮和群星永远围绕漂浮在中心位置的地球转动。地球是中心，也是整个宇宙中唯一一个有新旧更替的地方。可惜这是一个美丽的错误。

围绕地球运动的起因在哪里？亚里士多德非常注重“原因”。他创建了一套完整的分析体系，他把原因分为4类：“质料因”“形式因”“动力因”和“目的因”。他认为人类的活动，甚至整个世界都可以通过这种方式解释。我们再回过头去看看做成雕塑的那块石头吧：石头本身是“质料因”，塑像由它而生；工匠按照某种“形式因”给它塑造出形状，而雕塑这一动作则是“动力因”；工匠脑子里的设想——比如说形状，是雕一只狗好，还是刻一匹马好？这就是“目的因”，也是实施所有行为的计划。

科学就是找出原因。科学家想知道发生了什么和发生的原因。是什么导致细胞无休止地分裂，让人类患上癌症？是什么使得夏天绿油油的树叶在秋天变棕、变黄、变红？为什么酵母能让面包膨松？很多类似的问题都可以通过不同的“原因”解释。谜底有时候很简单，有时候又相当复杂。多数情况下，科学家利用亚里士多德的“动力因”来解释，当然“质料因”和“形式因”也很重要。“目的因”则引出了新的分支。在现代科学实验中，科学家关注的是对进程的解释，不再寻找和宗教或哲学更为密切的宽泛解释或“目的因”。

回到公元前4世纪，亚里士多德相信“目的因”是不可或缺的。他提出把宇宙当作一个整体来看，其中必定有一个“目的因”激发了所有的运动，他对此命名为“不动的推动者”，这是亚里士多德一直被尊为伟大的思想家的原因之一。后来很多宗教（例如基督教、犹太教和伊斯兰教）把这股力量归功于他们的神。亚里士多德创立的世界观主宰科学界长达2 000多年。

---

1. 亚里士多德（Aristotle，公元前384—前322），世界古代史上伟大的哲学家、科学家和教育家之一，堪称古希腊哲学的集大成者。他是柏拉图的学生，亚历山大的老师。——编者注
2. 哲学在希腊文中的字面含义是“爱智慧”。——编者注

第6章

御医盖伦



盖伦(注)聪明绝顶且自命不凡。他笔耕不辍，作品里全是自己的观点和科研成果。他的诸多言论千载流传，其他任何古代作者都无法企及，这也反映了世人对盖伦价值的高度认可。他有厚厚的20册专著流传至今，而这只是他的作品的冰山一角。所以，我们对他的了解比对其他的古代思想家更充分些。盖伦也会写一些文章自夸，然而这本身无伤大雅。

盖伦出生于现在土耳其的帕加马，那里曾经是罗马帝国的边境。他的父亲是一名成功的建筑师，小盖伦天资卓越并且接受了系统的教育，包括在希腊学习哲学和数学。谁知道是怎样的一个神梦启示盖伦的父亲，梦中预言盖伦将成为一名医生，总之，盖伦转行学医了。他继承了父亲丰厚的家产，游学多年，整日泡在埃及亚历山大城著名的图书馆和博物馆里。

回到帕加马以后，盖伦成了一名医生，负责救治“角斗士”——竞技场里为了娱乐富人阶层互相打斗，或者是和狮子等其他野兽厮杀的人。照顾他们是一项艰巨的工作，在赛事期间，盖伦必须处理好伤者，以让这些“角斗士”能够继续战斗。我们从盖伦的描述中得知他对自己非常满意。盖伦在创伤外科方面积累了不同寻常的经验，在富人圈里声名远扬。大概在160年，盖伦来到罗马帝国的首都罗马，在那里开始撰写解剖学（有关人类和动物身体结构的研究）和生理学（有关结构功能的学科）方面的文章。他曾经陪同皇帝马可·奥勒留（Marcus Aurelius）出征，这位皇帝正是流芳百世的《沉思录》（*Meditations*）的作者。他们在漫长的行军途中共同探讨哲学问题，盖伦赢得了马可·奥勒留的器重和鼎力相助。达官显贵纷纷登门求诊，按照盖伦的说法，来看病的人该好的全好了。

盖伦的医学偶像是希波克拉底，尽管后者已经逝去500多年。盖伦赋予自己的使命是延续和发展大师的遗志，他也的确说到做到了。盖伦评注了多本希波克拉底著作，并且坦言自己的很多观点都受到了希波克拉底的启发。盖伦是一个语言高手，精通词义变化，所以他对希波克拉底学派的著作的评注一直备受青睐。更值得一提的是，他把希波克拉底的体液学说完善成体系，该体系被应用了1 000多年，影响力可想而知。

盖伦行医的核心依据是体液的平衡和失调。他和希波克拉底一样认同四体液学说——血液、黄胆汁、黑胆汁和黏液——各具冷、热、干、湿的特点，而要治疗疾病，必须选择“相反”的疗法，施以同样的力度。比如，治疗三度湿热病，应该用三度干冷处方。再比如，患者流鼻涕、发冷，应该服用干热的药物和食品。通过调剂体液，人可以重返健康的“均衡”状态。这说起来是一件规则明确、简单易行的事，但现实总是变幻莫测。医生需要先了解病人的大量信息，再慎重地对症下药。而盖伦总能及时纠正其他医生的错误（它们时有发生），所以大家都相信他的诊断和疗法胜人一筹。作为一个精明的医生，盖伦既关注健康和疾病的生理层面又注重精神层面，口碑颇佳。曾经有一个农村少女，每次看

见英俊的男舞蹈演员演出就心跳加速、双腿发软，盖伦对她的诊断是“相思病”。

盖伦还总结了号脉这项经久不衰的医术。他写过有关脉搏的论文——快或慢，强或弱，规律或凌乱——这对诊断疾病很有帮助，不过那时的盖伦还不知道血液循环的理论。

盖伦对解剖学比希波克拉底学派更感兴趣。在古代，解剖人体为社会所不容，虽然允许屈指可数的几个医生检查罪犯的身体，但那也是在罪犯活着的时候。盖伦当然也不能解剖人体，所以他不放过任何可以解剖动物尸体或检验人体骨骼的机会。盖伦通过解剖猪、猴等动物，领悟人体解剖结构，有时机缘巧合能碰上一具腐烂的尸体或病人因重伤中暴露出的皮肤、肌肉和骨骼结构。如今，现代科学仍用动物进行研究，科学家们必须详细地标明实验数据的来源，可是盖伦总是忘记标明来源，这实在让研究者头疼。

在盖伦看来，解剖学不但自身意义重大，而且对于理解器官功能的作用也不容小觑。他最具影响力的论文之一《论人体各部分的功能》（*On the Uses of the Parts*）就透视了各“部分”即器官的结构，以及它们在整个人体机能中所起的作用。盖伦做出了一个推断：各器官都肩负使命，否则它就不会出现。你也是这么想的吧？（我怀疑盖伦没见过阑尾。那个消化器官里的小不点儿，很久以前帮助人类消化植物，但是现在一点儿用处都没有了。）

身体机能的核心是一种古希腊人称作“pneuma”的物质，我们很难找到一个合适的词汇对应，我们暂且用“灵气”（spirit）代替，请记住这里还有“气”（air）的含义。即便现在，有一些医学名词也以它为基础，比如“肺炎”（pneumonia）。盖伦认为人体内有三种“灵气”，了解了它们各自的功能，就掌握了人体功能的主线。其中最基础的“灵气”与肝脏相连，主导营养。盖伦认为肝脏可以把经胃消化的食物运送进血液，然后补充进“自然的”灵气，这些血液再从肝脏经过静脉分布全身，为肌肉和其他器官输送营养。

盖伦还认为，有些血液流经肝脏通过一根粗血管——腔静脉到达心脏，进一步接受另一种“灵气”——“生命灵气”的净化。在这一过程中，心脏与肝脏合作，一部分血液自右心室给肺送去给养，并和我们呼吸进去的空气融合；与此同时，一部分血液通过心脏中间的隔膜从右流到左，因为注入了生命“灵气”而变得鲜红。盖伦注意到，动脉血的颜色有别于静脉血。心脏左边的血液则顺着主动脉——运送血液离开左心室的大血管（或者叫作大动脉）流出，温暖人体。盖伦肯定了血液对于个体生命的重要性，但是他对血液循环还一无所知，这让威廉·哈维（William Harvey，1578—1657）在差不多1 500年后抢了头功。

在盖伦的理论里，还有一部分血液从心脏奔向了大脑，在那里和最精明的第三种灵气——“动物灵气”相遇后通过神经系统分散，它赐予大脑特殊的功能，它让肌肉动起来，令人可以运动；它让感官灵敏起来，令人得以感知外部的世界。

盖伦结合一些重要的器官（肝脏、心脏和大脑）建立了三种“灵气”的体系，1 000多年来无人质疑。我们应该记住的是，盖伦利用该理论首次解释了人健康时身体的运转方式。盖伦在诊治病人的时候，仍然信赖希波克拉底的体液理论。

盖伦也写到了其他一些医学领域的内容，比如他论述了药物和药性、特殊的器官疾病（如肺病）以及卫生学、保健、精神和身体的关系等。事实上，盖伦的观点非常具有前瞻性，他坚持医生应该是哲学家和侦探的结合体：既是思考者，又是实践者。他强调医学首先是一门理性的科学，所以他锐意进取，博采众长。后来那些自认为已经成为科学的饱学之士的医生依然欣赏盖伦宽广的思路和颇具可行性的建议（它们建立在他丰富的经验之上）。纵观西方医学史，没有哪个医生的影响力能像盖伦这样久远。

盖伦对后世之所以影响深远有多方面的原因。首先，他高度认可亚里士多德，后世人们经常将他们俩放在一起讨论。他们都是深邃的思想家和精力充沛的研究者，都相信世界是精心设计的杰作，也都赞美设计

者。盖伦不是基督徒，但是他相信一神论，这使他轻而易举地获得了早期基督教的包容。其次，盖伦的自信让他看起来无所不知。像多数长期著书立说的人一样，他有时也前后矛盾，但他总是对自己的观点言之凿凿。因此，后人给了他一个可以引以为豪的头衔——“神医盖伦”。

---

1. 克劳迪亚斯·盖伦（Claudius Galenus，129—约210），古罗马时期最著名、最有影响的医学大师，他被认为是仅次于希波克拉底的第二位医学权威。盖伦不仅是一名医生，也是一位动物解剖学家和哲学家。——编者注

第7章

伊斯兰与科学



盖伦没有亲眼见证罗马帝国的衰退。公元306年，新的罗马皇帝君士坦丁一世（Constantine，272—337）继位，后移都东罗马——君士坦丁堡，即现在土耳其的伊斯坦布尔。在那里，君主更靠近帝国东部的疆土，即我们现在称为中东的地方。饱含学识和智慧的希腊语和拉丁文的手稿与大批研习它们的学者就此东迁。

遵循伟大先知穆罕默德（570—632）教义的伊斯兰教在中东应运而生。伊斯兰教主导了几乎全部中东地区和北非地区，甚至远及西班牙和东亚地区，但在穆罕默德死后的两个世纪中，这个新兴的宗教被局限在巴格达和其他几个地区。所有的伊斯兰学者都研读过伊斯兰教的基本教义《古兰经》，他们中有很多人对455年随罗马被攻陷而传入的手稿感兴趣，并在巴格达建立了“智慧宫”，鼓励有志向的年轻人加入研究和翻译原稿的行列。

很多古老的手稿仍然是原始的希腊文或拉丁文，还有一些已经被译

成中东地区的各种文字。亚里士多德、欧几里得、盖伦以及古希腊其他思想家的作品也在翻译之列——这是一项功德无量的伟业。因为有很多原本已经无处可寻，如果没有伊斯兰学者，我们对科学前辈的了解可能还没有现在一半多。更重要的是，正是他们翻译的这些作品奠定了1100年后欧洲科学和哲学的基石。

伊斯兰国家的科学和它的领土一样横跨东西。伊斯兰国家像欧洲一样推崇亚里士多德和盖伦——亚里士多德走进了伊斯兰哲学的殿堂；盖伦成为医学理论和实践的大师。与此同时，印度和中国的一些观点传入西方。中国的纸简化了文稿的书写，不过还是要靠手抄，错误在所难免。印度数学家发明了1 ～ 9的数字，0的概念和占位的理论也接踵而至。欧洲人用罗马数字计算，比如Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ，虽然他们习以为常，但用起来还是很麻烦。写出4×12比写Ⅳ×Ⅻ更简单，不是吗？当欧洲人把伊斯兰作品翻译成拉丁文的时候，他们把这些数字称作“阿拉伯数字”——严格地讲，应该是“印度-阿拉伯数字”，不过，这也未免太拗口了！“代数”一词真正的起源是“al-jabr”，它是一本被译成多种文字的19世纪阿拉伯数学家著作的书名。我们把代数留在第14章详谈。

伊斯兰学者通过敏锐的观察得到很多伟大的发现。如果你曾经登上山顶或者去过一个高海拔的国家游览，你一定知道空气稀薄会导致呼吸困难。但是，这个高度的极限是多少呢？换句话说，就是可供呼吸的空气带延续到大气层的哪个高度？11世纪的伊本·穆阿（Ibn Mu’adh）找到了一条获得答案的捷径。他的推断来自黄昏：太阳落山的时候，天空还是亮的，这是因为高空中的水蒸气反射了太阳的余晖。（很多学者痴迷于光的变幻莫测。）他观察太阳从夜空中消失的速度，计算出日落时太阳在地平面以下19度的位置。基于这个数字，他推算出大气层的高度是52英里——这一数值十分接近我们公认的正确值62英里。伊本·穆阿的推算方法简单却行之有效，令人佩服。

另外一些伊斯兰学者研究了镜子里的反光和光线进入水中的神奇变化。（找一个装了半杯水的玻璃杯，放一支铅笔进去，看上去你会觉得

笔弯了，是不是？）多数希腊哲学家曾经推测，人能看见物体是因为眼睛射出的光打在了物体上，然后又被物体反射回来。伊斯兰科学家的观点更进步，他们认为是眼睛接收了看到的物体发出的光，然后再由大脑进行破译。但是他们同时提出了疑问，那些在黑暗里我们看不见的东西是什么样的呢？

在中东，很多人拥有在黑暗中依然敏锐的双眼——他们是观测星星的天文学家。伊斯兰天文学家绘制的夜空图比西方的略胜一筹。他们仍然认为地球是宇宙的中心，波斯的纳西尔·艾德丁·图西（Nasir al-Din al-Tusi）和叙利亚的伊本·沙提尔（Ibn al-Shatir）制作的图表和统计出的数据使300年后的波兰天文学家尼古拉·哥白尼（Nicolaus Copernicus，1473—1543）受益匪浅。伊斯兰世界的科学冲击了欧洲人的思想，医学更是首当其冲。人们乐此不疲地翻译、批注希波克拉底学派、盖伦和其他古希腊医生著作的时候，有几位伊斯兰医生脱颖而出。比如波斯的拉齐（Rhazes，约854—约925），现在他的名字在西方也是如雷贯耳。当年，拉齐写了包括医学在内的很多专题著作；他详尽地描述了令人恐慌的、即便病人死里逃生也会疤痕累累的天花病毒。天花和麻疹的共性是出疹子和发烧，二者经常被混为一谈，但是拉齐对它们进行了区分。麻疹通常侵袭儿童和某些成人，而天花在今日已经灭绝，这要归功于世界卫生组织（WHO）在全世界普及的疫苗。最后一个天花病例发生在1977年，拉齐可以含笑九泉了。

再比如，最具影响力的穆斯林医生阿维森纳（Avicenna，980—1037）。他和其他杰出的伊斯兰学者一样博学广闻，既是医生又是哲学家、数学家和物理学家。作为科学家，他发展了亚里士多德的光学理论，并纠正了盖伦的若干个错误。他的《医学集成》（*The Canon of Medicine*）是第一批被翻译成拉丁文的阿拉伯语书籍，而且在长达400多年的时间里一直被奉为欧洲医学院的教科书。时过境迁，它如今早已过时，不过在某些伊斯兰国家仍被沿用。

伊斯兰国家的科学和哲学领先于世界300多年。欧洲在沉睡的时

候，中东（以及西班牙的安达卢西亚）在忙碌。科学发展最活跃的城市是巴格达、大马士革、开罗和西班牙的科尔多瓦。这些城市有一个共同点：开明的统治者注重研究并且资助科研，接纳不同信仰的学者。因此，无论是基督教、犹太教，还是伊斯兰教，其学者都卓有建树。科学永远是文化中吐故纳新最强大的力量，发现新事物本身就是在制造惊喜。

第8章

走出“黑暗时代”



我们希望科学家源源不断地发现新事物，期盼着科学总能标新立异。但是，如果我们认为已经看透世界、通晓一切了，么科学又会是什么样子呢？那时，顶级的科学家可能只要看看其他人的发现就够了。

476年西罗马帝国灭亡以后，欧洲开始盛行这种退步的观念。那时，基督教已经成为罗马帝国的官方宗教（君士坦丁大帝是第一位改信基督教的皇帝），《圣经》成为唯一一本真正重要的书。早期基督教最具影响力的思想家圣·奥古斯丁（St Augustine，354—430）曾经说过：“真理在上帝的启示里，而不在探索者的猜想里。”因而从500年到1000年的5个世纪里，那些“探索”知识的科学家根本没有立足之地，人们认为科学和医学所有该探索的事情已经尽显无遗。而且，在宗教的氛围下，集中精力逃离地狱、进入天堂才是头等大事。作为一名“科学家”可能只需要学习一下亚里士多德和盖伦，而这也成了奢望，因为希

腊文和拉丁文的古文献几乎无处可见。能读懂的人当然更是寥寥无几。

455年，日耳曼军队入侵罗马，也令罗马改变了模样。比如，罗马男人用裤子换下了宽松的长袍（妇女们还要等很长时间）；种植大麦和黑麦等新的农作物；用食用黄油代替橄榄油。在那段“黑暗”的500年间，同样涌动着技术革新：出现了播种和犁地的新方法；教堂的兴建鼓励了工匠和雕刻师们对风格的创新和对石材、木材承重设计的改革，更雄伟壮观的教堂诞生了，矗立至今的早期建筑让人叹为观止。这一切告诉我们，即使在被称为“黑暗时代”的岁月里，也不时有光亮闪烁。

随着基督纪元的第二个千年到来，人们重新走上探索之路。托马斯·阿奎那(注)是中世纪最伟大的神学家。他对亚里士多德崇拜至极，所以把基督教的思想同亚里士多德的科学和哲学结合起来。亚里士多德、盖伦、托勒密和欧几里得主导了中世纪的思想潮流，他们的著作需要译文、编辑和批注。起初，这些工作都是在修道院里完成的，后来逐渐转到了当时新兴的大学里。

古希腊有过学校：亚里士多德在他的老师柏拉图的学园里学习，随后建立了自己的学校。巴格达的“智慧宫”也是人们聚集研习之地。欧洲兴起的大学却是另一番景象，而且绝大多数幸存至今。很多大学是教会修建的，也有一些社会名流和富人资助城镇建造自己的大学。罗马教皇下令在意大利南部设立了几所大学。博洛尼亚大学（约建于1088年）打开了对外开放的第一扇门。从此之后，差不多在100年的时间里，大学在帕多瓦、蒙彼利埃、巴黎、科隆、牛津和剑桥遍地开花。“大学”的名字来自拉丁文，是“全部”的意思，所以这些机构试图开设覆盖全人类知识的所有学科，通常设置4个学院或“系”：必不可少的是神学（阿奎那称神学是“知识界的女王”）、法律、医学和艺术。最初，医学系几乎完全信奉盖伦和阿维森纳的理论。因为那时普遍流行星象影响人生的说法，所以无论如何，医学系的学生都要学习占星术。我们认为最正宗的科学——数学和天文通常由艺术系教授。亚里士多德的鸿篇巨制是所有系学生的必修课。

中世纪的“科学家”大多不是医生就是牧师，他们中的大多数在大学里占有一席之地。医学系授予毕业生学位——医学博士（MD）或医学学士（MB），慢慢地把内科医生和外科医生、药剂师以及其他医药行业的人区分开来。医学系的大学教育并不注重培养医生的创造力（他们心甘情愿地遵从盖伦、阿维森纳和希波克拉底）。大约从1300年开始，解剖课的教师开始解剖尸体，让学生们观察内脏器官。验尸在得到特殊许可或者死亡原因存在疑点的时候，也是合法的。但是，这些都没有从本质上增强医生对抗疾病，尤其是那些席卷一切的瘟疫的能力。

我们现在称作“黑死病”的疾病是一种瘟疫，14世纪40年代，这种疾病第一次在欧洲爆发。它可能从亚洲沿着贸易通道而来，每3年一个周期，害死了近1/3的欧洲人。它似乎肆虐成性，10年后又回来了，而且在随后的400年里可怖地不断侵袭人类。很多社区建立了收治瘟疫病人的特殊医院（医院和大学同样都是中世纪的杰作），有些地方成立了卫生局。瘟疫期间，为了避免潜在的传染性，“隔离期”应运而生。“隔离期”一词来源于数字40，是病人或处于观察期的人被隔离的天数。如果在40天内患者康复了，或者被隔离的人没有出现病症，他们就可以被释放。剧作家威廉·莎士比亚正是在瘟疫流行的1564年出生于英国艾冯河畔的斯特拉福德。莎士比亚在世时，瘟疫曾数次让剧院关门歇业，他的事业频频受阻。莎士比亚所著的《罗密欧与朱丽叶》里，茂丘西奥说：“诅咒你们两家都感染瘟疫！”他以此谴责交战的双方。莎士比亚的观众一定对此感同身受。大多数医生认为黑死病是一种新的疾病，至少盖伦没有提到过，所以他们没有什么可借鉴的经验，只能轮番使用当时流行的治病手段：放血、药物引吐、排汗等。原来，盖伦并不是全知全能的啊。

亚里士多德当然也不是大百科全书。他关于为什么有东西可以在空气中运动的“动力问题”被牛津大学的罗杰·培根（Roger Bacon，约1214—1294）及巴黎大学的让·布里丹（Jean Buridan，约1295—1358）等人热烈讨论，大家期待着一个统一的答案。让我们以弓和箭为例说明一下：我们把弓弦向后拉直，然后迅速释放，箭被射向空中。我们施加了

外力，给它提供了动量（将在后文中详细介绍），培根和布里丹称之为“动力”。他们还意识到，亚里士多德没有正确解释弓弦复位以后箭还在继续前进的现象。亚里士多德说过，苹果落地是回到了其“自然的”栖息之地。他认为箭能飞是因为它的后面有力，但最终箭也会落在地上。那么，促使箭离开弦的那股力为什么会消耗完呢？

类似问题使一些人意识到亚里士多德并非完美无缺。牧师尼古拉·奥里斯姆（Nicolas Oresme，约1320—1382）在巴黎、鲁昂和法国的其他地方工作过。他再一次提出了对白天和黑夜的质疑。他推测，太阳并没有忙忙碌碌地每24小时围绕地球跑一圈，而是地球每天绕着自己的轴转一圈。虽然奥里斯姆没有挑战亚里士多德的地心说，但他认为太阳和其他天体绕地球一圈的速度非常缓慢（也许太阳要转上一年），同时，地球像个陀螺一样在宇宙的中间旋转。

这些观点是崭新的，可惜700年前，人们并不习惯于支持新观点。相反，他们喜欢那些一目了然的完整体系。这就是为什么那么多学者写了“百科全书”——收集、综合亚里士多德等古代智者著作的大部头。“万物各就其位”是那时的至理名言。然而在对号入座的过程中，有些人发现了需要破解的谜团。

---

1. 托马斯·阿奎那（Thomas Aquinas，约1225—1274），中世纪经院哲学的哲学家和神学家，自然神学最早的提倡者之一，也是托马斯哲学学派的创立者。他的学说是天主教长期以来研究哲学的重要根据。他所撰写的最知名著作是《神学大全》（Summa Theologiae）。——编者注

第9章

寻找魔法石



假设你有本事把可乐的铝罐变成黄金，你会这么干吗？你可能会试试；但是，如果人人都有这种能力，你也许就不会欣喜若狂了，因为这时的黄金也成了寻常之物，不值钱了。有一个古希腊神话，讲的是古希腊国王迈达斯实现了点石成金的愿望。不过，这位国王实在不够聪明，因为他的手指把面包也变成了金子，于是他连早饭都没有了。

迈达斯国王可不是唯一一个知道黄金与众不同的人。黄金一直被视为珍宝，因为它有诱人的手感和颜色，而且它十分稀有，只有国王和富人才能拥有。如果你发现了日常物品变成黄金的方法——比如，原料是铁或者铅，是白银也行——你就真的声名远扬了。

有一门早期的科学叫作“炼金术”（alchemy），目的之一就是以这种方式制造黄金。“炼金术”的英语单词中包含了一个来自“化学”（chemistry）的词根，这就表明了二者之间的联系。因为炼金术与魔法、宗教渊源深厚，如今我们不再把它归入科学的范畴。但是，在过

去，它完全是一个受人景仰的行业。艾萨克·牛顿（Isaac Newton，1642—1727，请详见第16章）闲暇之中也研究过炼金术，他买了许多天平、奇形怪状的玻璃容器和一些设备。换句话说，他建起了一间化学实验室。

你应该进过实验室，至少在图片和电影里见过。“实验室”字面的意思就是“劳动”或工作的地方。注很久以前，炼金术士就在实验室里工作。炼金术历史悠久，可以追溯到古代埃及、古代中国和波斯。炼金术士的目标并非简单地把不值钱（“基础”）的金属炼成黄金，而是要通过这种能力改变自然、控制自然。他们通常运用魔法——念咒语，或者确保严格按照正确的顺序操作行事。术士们用各种物质做实验，他们把两种物质混合或加热，观察变化。他们喜欢和反应强烈的物质打交道，比如磷、汞。尽管这样做危机四伏，但是一想到如果真的可以机缘巧合地找到“魔法石”的配方，他们便义无反顾。这块“石头”（准确地说，应该是某种特殊化学产品）能变铅、银成金，也能让你长生不老，就像“哈利·波特”系列里写的一样。

哈利·波特生动有趣的冒险发生在虚拟世界里，而在现实生活中，魔法师和炼金术士们梦想的魔力并不存在。尽管很多术士装神弄鬼，假装完成了不可实现的任务，其实他们的生命里也没有魔法。生活在不可预知的现实世界里，那些诚实的炼金人倒是在研究的过程中发现了很多化学反应。例如，他们掌握了蒸馏法，加热混合物以后在不同的时间段收集蒸馏产物，通过这种方法制作出高酒精含量的白兰地和杜松子酒，我们称它们为“烈酒”（spirits）。这个词来源于拉丁文“spiritus”，本意是“气息”和“精灵”，我们也用它形容“神灵”和人类生机勃勃的“精气神”。这也算炼金术的部分贡献吧。

在过去，大多数人相信魔法（现在仍然有人相信）。很多知名学者也曾经运用他们对自然奥妙的学识去寻找魔法的力量。有一位名人自认为具备了改变整个科学和医学实践领域的能力。他的全名特别拗口：Theophrastus Philippus Aureolus Bombastus von Hohenheim。你先试着快

一点儿念出他的名字，然后你就会理解他为什么把名字简化成了我们现在所知道的巴拉赛尔苏斯（Paracelsus，约1493—1541）。

巴拉赛尔苏斯出生在瑞士群山之中的小镇爱因西德伦。他的父亲是一名医生，教给了他有关采矿、矿物、植物和医学的自然知识。他虽然出身于罗马天主教家庭，但马丁·路德的宗教改革伴随着他的成长，所以他除了天主教的朋友之外，还有许多朋友是改革的参与者和支持者。同时巴拉赛尔苏斯也树敌无数。他有虔诚的信仰，曾经跟随好几个知名的牧师学习。有关他的一切，包括他毕生的信念，都毫无例外地与化学有关。

巴拉赛尔苏斯在意大利学医，居无定所，不停地从一个地方搬到另一个地方。后来他游历了整个欧洲和北非，也许还去过英国。他既是普通医生又是外科医生，救治了很多达官显贵，也算是功成名就。但他总是一副衣衫褴褛、一贫如洗的邋遢样。他不与社会名流为伴，却喜欢和普通人在酒馆里喝酒。敌视他的人说他嗜酒成性。

巴拉赛尔苏斯唯一的正式工作来自他祖国瑞士的巴塞尔大学。那里所有的教授都用拉丁语授课，他却坚持讲德语。巴拉赛尔苏斯做了很多首开先河的事，其中一件就是在市场上焚烧盖伦的书籍。他根本不需要盖伦、希波克拉底还有亚里士多德。他只想一切从头开始，并且坚信自己的宇宙观才是史无前例的正确观点。

焚烧盖伦的书籍之后，巴拉赛尔苏斯不得不背井离乡，这里流浪几个月，那里住上一两年，随遇而安。他随身带着手稿、化学设备和其他几件零零碎碎的东西。他步行或骑马，有时也搭货车，沿着泥泞的小路缓慢行进，颠沛流离。面对命运的坎坷，巴拉赛尔苏斯却奇迹般地让自己事事有成。在给人看病的同时，巴拉赛尔苏斯又写了很多本书；他关注着周围的世界，而且始终没有放弃化学实验。

化学点燃了巴拉赛尔苏斯的激情。他说过，自己不需要先人遗作的引导，后来果然言而有信。他对气、土、火、水四大基本物质不理不睬，取而代之地提出三个基本“要素”——盐、硫黄和汞，认为它们是所

有东西被分解后的终极产物。在他看来，盐赋予物体形状或者说是稳定性，硫黄是物体燃烧的根源，汞令固体冒烟或呈现液体状态。巴拉赛尔苏斯用这三个要素诠释他的实验。他热衷于酸的分解和酒精的凝固；他一丝不苟地检查燃烧后的残渣；他想收集蒸馏产物，可惜它们都随风而逝了。简而言之，巴拉赛尔苏斯在实验室里花费了大量的时间试图掌控自然。

巴拉赛尔苏斯执着地认为，他可以通过自己的化学实验了解世界的运转，而自己的化学制剂将是对抗疾病的新手段。在他之前，几乎全部医学用药都来自植物，尽管巴拉赛尔苏斯也采用草药治病，但他更倾向于给患者使用自己在实验室里研制出的新药。他尤其偏爱有剧毒的汞。他相信这是治疗欧洲的某种流行性皮肤病最有效的药膏。这种病就是梅毒，通常经由性接触传播，患者皮肤上遍布可怕的疹子，鼻子破损，九死一生。15世纪90年代，差不多在巴拉赛尔苏斯刚出生的时候，梅毒席卷意大利，夺走了无数人的生命。到他成为医生的时候，梅毒盛行，几乎所有的医生都收治过梅毒病人（不少医生自己也深受其害）。巴拉赛尔苏斯撰文描述了这种新型疾病的诸多症状，并且建议使用汞疗法。汞会导致病人掉牙、口臭，但因为去疹效果明显，所以多年以来一直为医生所沿用，用于治疗梅毒和其他出疹子的病症。

巴拉赛尔苏斯还记录了很多其他疾病。比如，他介绍了矿井工人的一些伤病，尤其是长期在恶劣条件下工作引发的肺病。他对底层矿工的关注佐证了他和普通人朝夕相处的生活。

在希波克拉底、盖伦，以及其他早于巴拉赛尔苏斯的医生看来，疾病是体内失调的结果。但对巴拉赛尔苏斯而言，疾病是身体之外的力所为。这个“力”（他称作ens，为拉丁文，意思是“东西”或“物质”）袭击了我们身体，导致我们生病，它富于变化，医生利用这些特征作为识别疾病的线索。“力”可能是丘疹、脓包，也可能是肾里的一块石头。巴拉赛尔苏斯的重大突破在于把疾病和患者分开。直到很久之后人们发现细菌，他的这种思维方式才成为一个独立的体系。

巴拉赛尔苏斯希望以他提供的基础理论开启科学和医学的新篇章。他一再重申人不仅需要读书，还需要亲自验证。当然了，他鼓励人们读他的书，他的原话是“别费力读盖伦了，看看巴拉赛尔苏斯吧”，不过他没来得及活着见证自己每一本书的出版。巴拉赛尔苏斯的世界充满了魔力，他自信地认为在自己的科学和医学领域里能够了解它们、利用它们。他的炼金梦不仅仅是找到使金属变成黄金的方法，更是寻找一切主宰自然的神秘之力。

巴拉赛尔苏斯的崇拜者多数出现在他死后，他们自称是“巴拉赛尔苏斯迷”，而且力图效仿巴拉赛尔苏斯，改变医学和科学的发展方向，努力运用自然的魔力控制自然的力量。崇拜者们遵循巴拉赛尔苏斯的倡导，在实验室里做实验，在治疗中使用化学疗法。

巴拉赛尔苏斯的追随者们一直是非主流群体。大多数医生和科学家不愿意彻底摒弃古代圣贤留下的体系。尽管如此，巴拉赛尔苏斯的观点还是迅速地产生了反响，人们开始自己独立观察世界。他去世后两年，也就是1543年，巴拉赛尔苏斯挑战古人权威的、有关解剖学和天文学的两本书出版了。人们开始重新认识宇宙。

---

1. “实验室”（laboratory）英文单词中包含“劳动”（labor）。——编者注

第10章

人体揭秘



如果你想从里到外地了解一样东西的构造，有一个屡试不爽的好方法，那就是拆，拆成一块一块的。分解对于了解很多事物大有益处，比如钟表和汽车，当然你还要知道怎么把它们组装回去。如果你想了解人类或动物的身体，也是用同样的方法，但必须要等他们成为尸体才行。

我们知道盖伦解剖过（或者说分解了）很多动物，因为他无权解剖人体。他推测解剖猪、猴子和解剖人是异曲同工的。从某种意义上来讲，他是正确的，但是这之间还是有诸多不同。1300年左右，医学院初设解剖课，偶尔进行人体解剖。最开始，他们注意到亲眼所见和盖伦所说不同的时候，以为是人类身体发生了变化，绝对不会是盖伦的错！但是随着观察的深入，解剖学家发现真实情况与盖伦的说法间的细微差别越来越多。显而易见，人体还有更多秘密等待揭晓。

这个揭秘的人就是安德雷亚斯·维萨里（Andreas Vesalius，1514—

1564，他的全名是Andreas Wytinck van Wesel）。他出生在现在的比利时首都布鲁塞尔，父亲是德意志皇帝查理五世的医师，他是家喻户晓的解剖专家和外科医生。维萨里天赋异禀，被送进鲁汶大学（University of Louvain）学习艺术，但是自己改修了医学。维萨里带着明确的志向前往名师汇聚的巴黎学习了三年，那里所有的人都尊盖伦为师。求学期间，维萨里展示了他的希腊语和拉丁语功底以及对解剖的痴迷，给人留下了深刻印象。1537年，法国和神圣罗马帝国之间的紧张关系令维萨里不得不离开巴黎重返鲁汶大学，并备考意大利帕多瓦大学（University of Padua），这是当时世界上最棒的医学院。在离开鲁汶大学之前，他为医学系重新引入了人体解剖课。维萨里刷新了帕多瓦大学入学考试的最高分，第二天就被任命为外科解剖学的讲师。这是一个明智之举：维萨里亲自示范并教授解剖学，深受学生喜爱。第二年，他出版了一系列精彩的人体结构图。全欧洲的医生如获至宝，纷纷复制维萨里的作品据为己用。这种剽窃行为令维萨里气愤不已。

尸体解剖可不是什么赏心悦目的事。尸体腐烂得很快，变得臭气熏天，要知道在维萨里的时代还没有防腐技术，所以解剖工作必须争分夺秒，在被熏晕之前的两三天内按顺序操作。首先是腹部，因为肠子是最先腐烂的；然后是头部、大脑、心、肺和胸腔；最后是最易保存的四肢。因此解剖课通常在冬天进行，寒冷的天气便于尸体存放，可以留给医生相对充裕的时间。

发明于18世纪的尸体防腐法延长了解剖时间，方便对尸体进行整体观察。我在医学院学习的时候，曾经花了8个月的时间解剖一具尸体。那些日子，我的衣服和手指甲缝里飘出来的不是尸体腐烂的味道，而是化学防腐剂的气味。我的解剖对象是一位老人，经过几个月的解剖，我对他了如指掌。我们解剖的顺序和维萨里时代相差无几，只不过我们把收官之作留给了大脑，因为它实在太复杂了，我们要竭尽所能地谨慎。那位为医学捐躯的老人使我受益匪浅。

尽管要忍受刺鼻的味道火速完工，解剖仍然是维萨里一生的挚爱。

他到底细致入微地解剖了多少尸体，我们不得而知，但肯定非常多，因为在当时，他对人体的了解程度无人可比。维萨里在帕多瓦任教5年半，1543年是他成绩斐然的一年，就在那一年，他的著作问世了。那真是一部巨著——40厘米厚，差不多有2公斤重，谁也别想信手插进口袋里随身阅读。它就是《人体构造》（*De Humani Coposis Fabrica*，也被译成*De Fabrica*）。维萨里特意前往瑞士的巴塞尔，用精美复杂的配图和印刷技术打造出了一本惊艳的科学著作。

现在，我们生活在铺天盖地的图片里。我们可以通过数码相机轻松地给朋友传送照片，报纸杂志里的图片也是满目皆是。然而，维萨里的年代和我们相比可是天壤之别。那时，印刷术刚刚起步不足百年，画面都是靠临摹手图一笔一画地刻在木板上，类似一块橡胶印章，然后再蘸上墨印在纸上。

维萨里书中的图令人们眼界大开，之前从没有这么精确的人体呈现。只看看封面就知道有些奇妙的事情要上演了：成百上千的人蜂拥在一个被解剖的女人周围。维萨里挨着女尸站在中间，他是唯一一个注视着读者的人。观众或在全神贯注于解剖，或在交头接耳。图的左边是一只猴子，右边有一只狗，寓意着盖伦的解剖研究只能局限在动物身上。在书中，维萨里结合人体和自己的解剖经验探讨了人体解剖学。对于一个不满30岁的年轻人来说，这是惊天动地的伟业。

维萨里胸有成竹。他知道自己比任何人都更深入地了解了人体的内部构造。书中精美绝伦的图片中穿插着人体肌肉的展示：从前到后，从表层到底层，一览无遗。这些“肌肉男”在田野、建筑物、森林、岩石、群山等各种地方摆出姿势。维萨里使用的尸体通常来自罪犯。曾经有一个被吊死的犯人，身体已经被鸟啄空了，维萨里就把他的骨头一块块地运回家里独自研究。

维萨里与一位技艺高超的艺术家合作，遗憾的是我们不知道这位艺术家的名字。在我们称为“文艺复兴”的那段时期，科学和艺术密不可分。很多文艺复兴时的艺术家——列奥纳多·达·芬奇[注]、米开朗琪罗[注]

等——都为了提高绘画技能而解剖过尸体。医生不是唯一想了解人体结构的人。

维萨里对人体结构（解剖学）如醉如痴，但是尸体不能反映出身体的功能（生理机能），如呼吸、消化和运动。维萨里的著作中有很长的篇幅都是新旧两种观点的混合体。他频繁地纠正盖伦对器官和肌肉的错误描述。例如，盖伦提到肝有5个不同的“叶”，或者叫作“部分”，但他并没有明确表达自己说的是猪的肝脏，而人的肝叶应该是4片。再比如，人的手和脚上的肌肉数量就和我们的近亲猴子、猩猩的不一样。盖伦认为血液从心脏的右边流向左边；在心脏的两个大腔（心室）中间有若干小洞，血液源源不断地从中渗透过去，而维萨里解剖了很多人的心脏却找不到那些小洞。维萨里的记述对于几十年后，潜心研究心脏和血液功能的威廉·哈维来说非常重要。维萨里沿用了盖伦很多关于活体机能的理论，也许这就是为什么他的插图比文字更有价值的原因。这些图片在整个欧洲迅速传播，维萨里也开始声名远播（即便如此，他也没挣到什么钱）。

这是维萨里事业的巅峰时刻。《人体构造》首版发行以后，他成为御医，专心照顾权贵。在随后的20年里，他只对第一版做了一些修订和再版。或许，他觉得自己已经知无不言，无须多说了。

维萨里的研究与著作足以让他千古留名。《人体构造》永远是一本不朽的经典：它是艺术、解剖和印刷的完美结合，令现代人赞叹不已。维萨里在书中留给我们两份永恒的礼物。第一份礼物是他对人体结构细致入微的描述，他鼓励其他医生效仿。后来的解剖学家由此发现了维萨里的疏漏之处，并且修正了他的错误。维萨里用艺术的手法呈现了微妙的解剖学，开创了人体绘图本的先河。他的书是第一本图比文更重要的书，但绝不是最后一本。医生必须学会看懂眼前之物，图片正好助他们一臂之力。

第二份礼物，则是维萨里对盖伦的挑战。他没有像巴拉赛尔苏斯那样咄咄逼人，而是心平气和地证明盖伦是可以被超越的，知识总是被后

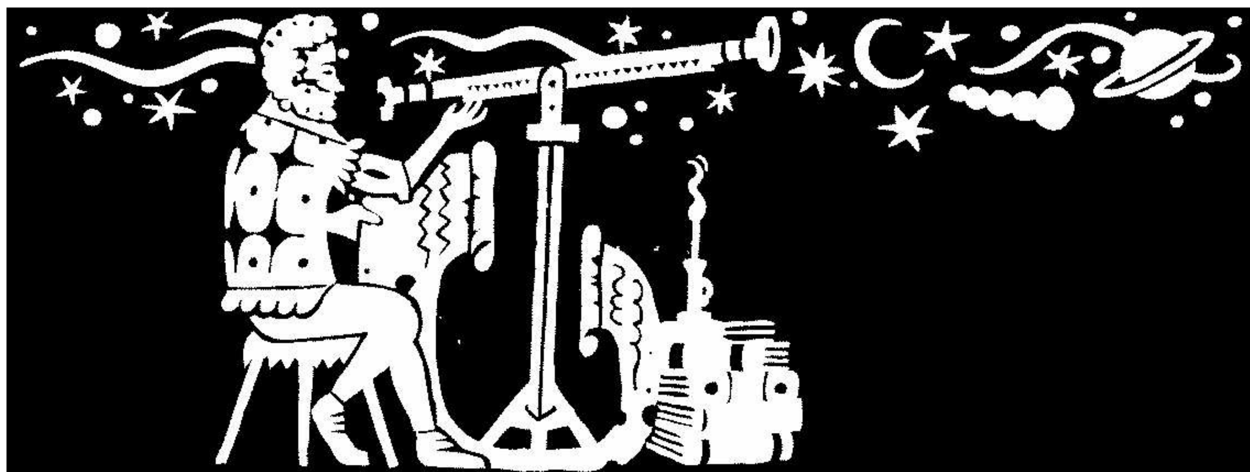
人不断修正和完善的。他提出了一个简单的问题，激起了世纪之争：我们能比先贤知道得更多吗？在维萨里之前的千年历史里，答案一直是“不能”。维萨里之后，答案在慢慢地变化。人们开始思考：“如果一切应该知道的都已经被发现，那么还有什么可困惑的呢？但是，如果我们身体力行地找一找，也许就能看见别人看不到的东西。”维萨里点醒了医生和科学家，他们学会开始质疑。

---

1. 列奥纳多·达·芬奇（Leonardo Da Vinci，1452—1519），欧洲文艺复兴时期的天才科学家、发明家、画家。现代学者称他为“文艺复兴时期最完美的代表”。作品有《蒙娜丽莎》《最后的晚餐》等。——编者注
2. 米开朗琪罗（Michelangelo，1475—1564），意大利文艺复兴时期伟大的绘画家、雕塑家、建筑师和诗人，文艺复兴时期雕塑艺术最高峰的代表。与拉斐尔和达·芬奇并称为文艺复兴后三杰。——编者注

第11章

宇宙的中心在哪里？



太阳东升西落，晨起暮降。我们看见它在空中一点点儿地移动，我们的影子也随着它忽长忽短，一会儿在前，一会儿在后。请在正午的时候做个实验，看看你的影子是不是缩进脚下了？就算你错过了今天，明天也可以再试，反正天天如此，没有什么现象比这个更显而易见了。

太阳当然不是每天绕着地球转。但你能想象说服人们相信这一点有多难吗？这么说吧：因为我们在地球上仰望日月星辰，所以地球是我们的宇宙中心。但它只是“我们”的中心，而不是“宇宙”的中心。

古代的天文学家们毫无例外地把地球放在正中。你还记得亚里士多德吗？他之后最有影响力的古希腊天文学者托勒密详细标记了群星的位置，将它们日复一日、年复一年地记录下来。在晴朗的夜晚仰望星空是一件奇妙的事，区分不同的星群——“星座”亦是乐趣无穷。在万里无云的夜空中，很容易认出北斗七星和“猎户的腰带”。顺着北斗七星，你会

找到在夜里为海员引航的北极星。

若是以地球位于宇宙中心为前提，天体围绕地球做圆周运动的模式便引发了诸多疑惑。以恒星为例，它们随着黑夜缓慢地移动。太阳正好在赤道上空，日夜平分的日子是春分，它出现在每年的3月20日或21日，现在法定21日为春天的起始。包括天文学家在内的所有人都一直很看重这一天。那么问题来了——在每年春天的第一天，恒星的位置都稍有不同。如果它们规规矩矩地绕着地球转圈，便不应该出现这样的偏移。天文学家把这种现象叫作“岁差”，必须经过复杂的运算才能解释其中的原因。

行星的运动也让人百思不得其解。用肉眼看夜空，行星看起来就像一颗颗明亮的星星。古代天文学家认为有七大行星：水星、金星、火星、木星、土星，加上太阳和月亮（它们那时也被称为行星）。这七大行星明显比银河更靠近地球，而那时银河被称作“固定的星群”。观测行星牵扯出比恒星更多的问题，因为它们的样子不像在围着地球转。至少，它们看起来不是在持续运动，有时似乎还在倒退。为了解释这个问题，天文学家提出，行星在不停地绕地球旋转，但旋转所围绕的点并不在地球上。他们把这个点叫作“偏心匀速点”。天文学家借助这个观点和其他一些推算，在没有完全摒弃原有模式的前提下解释了他们的夜空所见。也就是说，他们仍然秉持地心说。

如果把放在中心的地球换成太阳，假设行星（现在也包括地球在内）都绕着太阳转，又会怎样呢？这是开天辟地的一问。由于我们对日心说习以为常，所以很难意识到它划时代的意义。日心说是对我们日常所见的挑战，是对亚里士多德学说的挑战，更重要的是对教会的挑战，因为《圣经》里说，耶和华要求上帝命令乱动的太阳老实地站好。一位波兰教士哥白尼勇敢地提出，太阳才是宇宙的中心。

尼古拉·哥白尼生于波兰，死于波兰，但在意大利学习了法律和医学。哥白尼10岁时便失去父亲，是舅舅把这个聪明的小男孩儿送进了波兰的克拉科夫大学。后来，哥白尼的舅舅成为波兰弗劳恩堡的主教，又

为他提供了一份在教堂的工作，哥白尼由此获得了稳定的收入，得以重返意大利求学，延续自己的梦想：研究天体。他搭建了一座露天的塔，在那里放置自己的天文设备，当时还没有望远镜，所以哥白尼只能利用简单的仪器测量不同的天体与地平线的夹角以及观察月相。日食和月食也是哥白尼的兴趣所在。发生日食或月食的时候，我们只能看到太阳或月亮的一部分，或者完全看不到它们。

我们不知道哥白尼到底从什么时候开始认定自己提出的天体和太阳系模型（就和我们现在的说法一样）比几千年来盛行的理论更有说服力。不过，他曾在1514年写了一篇相关的短文，并悄悄地发给了几个密友。当时哥白尼还不敢声张。他在文中清清楚楚地写道："地球的中心并不是宇宙的中心……我们和其他行星一样围绕太阳转动。"哥白尼明确地表述了这些论点，在随后的30多年继续潜心研究宇宙中心是太阳而不是地球的理论。他一边花费大量时间持之以恒地自己观察，一边殚精竭虑地琢磨其他天文学家的发现，思考着如何利用日心说和行星绕太阳运转的理论来解决他们的难题。事实上，很多困惑面对日心说迎刃而解：比如日食和月食，比如行星奇怪的前进和后退。太阳给了我们温暖和光明，在人类生活中无可替代，把它放在中心的位置，正好提醒我们：没有它就没有地球上的一切。

哥白尼学说产生的另一个显著影响是：恒星离地球的距离比亚里士多德等早期哲人的推断要远很多。亚里士多德认为时间是无限的，空间是固定的。教会则宣扬时间是固定的（时间凝固于几千年前上帝造物之时），空间也是固定的，也许上帝是唯一的例外。哥白尼接受教会关于时间和创世的说法，但是观测结果却告诉他，地球比其他行星更靠近太阳。他计算出了太阳和行星，以及月亮和地球间的大概距离。无垠的宇宙大大超乎人们的预想。

哥白尼知道自己的研究将震惊世人，也明白岁月不饶人，终于下定决心公开自己的理论。1542年，哥白尼完成大作《天体运行论》（*De Revolutionibus Orbium Coelestium*）。但是，那时他已经年迈多病，只好

委托知己——教士雷蒂库斯（Rheticus）代为出版。雷蒂库斯在着手准备时被调任至德国的一所大学，不得已又转手给另一个教士——安德烈亚斯·奥西安德（Andreas Osiander）。奥西安德认为哥白尼的理论过于危险，于是他在1543年出版前给这本著作加了前言。他写道，哥白尼的学说虽不可信，但不妨作为一种解决地心说无法自圆其说的补救方法。奥西安德发表自己的言论无可厚非，但是他做了一件龌龊的事：他把前言伪造成了哥白尼的自序。因为没有署名，读者便猜测这就是哥白尼想要表达的观点。而那时的哥白尼已经病入膏肓，无暇纠正这些误导了。结果在100多年中，这本书的读者都以为哥白尼在变着花样地解释每天夜空上演的那一幕，而不是在讲地球围绕太阳转动。

很多人读了哥白尼的书，但是前言不费吹灰之力地让读者忽视了书中石破天惊的信息。尽管如此，书中的见解和计算在哥白尼死后数十年还在影响着天文界。其中有两位天文学家尤为突出，他们沉浸在这本书中难以自拔。一个是第谷·布拉赫（Tycho Brahe，1546—1601），他受到哥白尼的启发，坚信宇宙宽广浩瀚，群星遥不可及。他在1560年观测到一次日食，这点燃了他的激情。第谷生于丹麦贵族家庭，他的家族希望他学习法律，但他唯一的兴趣是研究天文学。1572年，第谷在夜空中观测到一颗耀眼的新星。从这颗新星入手，他撰文表达了天体不是如人所愿一成不变的观点。他在丹麦的小岛上精心地建立了一个观测站，配备了最先进的设备。（可惜当时望远镜还没有问世。）1577年，第谷追寻到了彗星的轨迹。那时，彗星被视为不祥的征兆，但第谷通过彗星的运行轨迹，证明了天体并非在各自的空间里静止不动。

第谷也发现了很多重要的天体运动和天体位置。出于某些原因，他被迫关闭了自己的观测站前往布拉格，并于1597年在那里建立了新的天文台。3年后，他挑选了约翰尼斯·开普勒（Johannes Kepler，1571—1630）作为助手。尽管第谷自始至终没有接受哥白尼的日心说，有着不同于开普勒的宇宙观，第谷还是在1601年去世时把自己的全部笔记和手稿留给了开普勒。开普勒不负嘱托，整理并编辑出版了第谷的部分作品，同时也开辟了天文学的新思路。

开普勒一生多灾多难。他妻丧女亡，母亲因为巫师罪入狱，自己在宗教改革运动前期是激进的新教徒，在天主教主导的政治舞台上如履薄冰。虽然开普勒认为有序的天体印证了自己赞赏的“上帝造物”的神秘理论，但是他对天文学的永久贡献却是客观精准的。尽管他的文字总是晦涩难懂，但“开普勒三大定律”广为人知，并且意义深远。

开普勒“三大定律”中的前两条密切相关，它们的发现得益于第谷留下的有关火星运动的翔实记录。开普勒经过长时间的研究，意识到行星不是匀速运动的。当它们靠近太阳时速度快，远离太阳时则速度慢。他发现太阳（当时所认为的宇宙中心）和行星运动的连线在单位时间内扫过的面积是一个不变的常数，但是行星的运动速度在变。这就是第二定律，第一定律是第二定律的结果：行星的运动轨道不是标准的正圆形，而是较扁的椭圆形。开普勒虽然不知道引力，但他知道有一种力影响着行星的运动。而且他意识到，当行星围绕太阳转动时，位于中心位置的某种物质决定了椭圆形的运行轨道。这两个理论打破了天体沿正圆形轨道移动的古代学说。

开普勒的第三个定律更有实践意义：行星绕太阳一周的时间与到太阳的平均距离有关。这样天文学家就可以计算出行星和太阳的距离——体会一下我们眼里浩瀚无边的太阳系比起无垠的恒星是多么微不足道吧。可喜可贺的是，几乎在同一时间，一件帮助我们瞭望天穹的科学仪器——望远镜诞生了。那个让望远镜发挥无限能量的人就是那位最为声名远扬的天文学家：伽利略·伽利雷（Galileo Galilei，1564—1642）。

第12章

斜塔和望远镜：伽利略



意大利比萨有一座约850年历史的教堂钟楼，它当之无愧是全世界最奇特的建筑之一。你大概也猜到了，它就是比萨斜塔。你可以站在塔前，拍一些假装托住塔身防止它倒地的照片发给朋友，挺有意思的。你可能还知道很多关于伽利略在这个塔上做实验的传说——从塔顶扔下两个不同重量的球，看哪一个先落地。事实上，伽利略选择的实验地点不在这里，而是通过其他实验得出了结论：10磅重的球和1磅重的球同时落地。这个实验和太阳不绕地球转动有异曲同工之妙，它们颠覆了我们的日常感受。毕竟，羽毛和球不会以同样的速度从塔上掉落。可为什么不同重量的球却会一起落地呢？

伽利略·伽利雷（伽利雷是他的姓，我们对这个大英雄一直是久仰其“名”）出生在比萨，父亲是一位音乐家。他的少年时代在佛罗伦萨周边度过，成年后进入比萨大学学医。由于对数学的痴迷，伽利略放弃了学业，但人人都说他智慧超人、才思敏捷。1592年，伽利略前往帕多瓦

大学任教，教授当时叫作数学、现在被称为物理的学科。那个时候，威廉·哈维是该校的学生，我们很快就将与他相识，但他们两位从未谋面，这是历史的遗憾。

伽利略的一生是与世俗对抗的一生。他的理论总是挑战约定俗成的观点，尤其针对亚里士多德等古代圣贤关于物理和天文的说法。伽利略是虔诚的天主教徒，但是他深信宗教统治精神和信仰，科学掌管可见的物质世界。正如他所说，《圣经》告诉我们如何抵达天堂，但没有告诉我们天体如何运行。天主教会不遗余力地打击一切质疑其教义和权威的人，于是伽利略开始了与天主教的斗争。教会禁止出版需求日增的书籍，开出了他们所谓的“禁书单”。伽利略虽然获得了很多位高权重的朋友（包括贵族、主教、枢机主教，甚至教皇）的支持，但是仍有许多人冥顽不化，禁止他否定有几百年根基的旧学说。

伽利略早期曾研究动力学。一开始，他只是出于个人爱好进行观察和测量，稍后开始尝试以数学的方式表述自己的结论。他最著名的实验之一是：在斜坡上放一个球让它滚下来，统计球到达不同点所用的时间。可想而知，球下坡的滚动速度越来越快（我们称之为加速运动）。伽利略洞悉了球速和时间的固定关系，以及球滚动的距离和时间的平方有关。他发现，经过2秒钟的时间，球速变为原来的4倍。（时间的平方在后来的科研中也会用到。提醒你一定要留意，自然界似乎总是喜欢“平方”后的事物。）

伽利略意识到所有这些和其他不胜枚举的实验中，实际测量数据一变再变的事实，展现出一名现代科学家的素养。影响结果的诸多因素包括：在错误的时间眨了一下眼，转身做记录耽误了时间，或者是设备不够精准。然而，对于真实世界，我们只能做出这类观察。伽利略最大的兴趣在可知的世界，而不是那个万物完美、精确的抽象世界。

伽利略早期对运动物体的研究呈现了一个和亚里士多德等成百上千位哲学家迥然不同的世界。尽管大学受神权统治，但亚里士多德的地位牢不可破。1609年，伽利略得知有一种新设备可以更有说服力地扭转古

老的思维方式。很快，它被命名为“望远镜”，意思是“看见远处”，就像“电话”代表“在远处讲”，“显微镜”代表“看见微小的东西”。[注]无论是望远镜还是显微镜，它们都在科学史上举足轻重。

伽利略制造的第一架望远镜的放大效果并不明显，但他还是惊喜万分。不久，他把两个镜头连起来改进后，它变得和我们现在的普通双目望远镜一样，放大倍数差不多是15倍。这听起来微不足道，却引领了新的趋势。有了它，你可以比肉眼更早地捕获到归航的船只。更重要的是，伽利略把他的望远镜对准了天空，在那里，他有了惊人的发现。

他瞄准了月亮，发现它并不像人们想象的那样圆润光滑。上面有凸起的群山和凹陷的沟壑；他对准了行星，更近距离地观察它们的运动，找到了木星的“卫星”，就像地球有自己的卫星一样；他看到土星有两个和卫星不一样的大光晕，我们现在称之为“光环”；他用望远镜拉近了水星和金星，证明它们有规律可循地改变着运动方向和速度；他宣称太阳上有暗区或者黑点，它们每天整齐地移动少许距离。（伽利略知道为了保护眼睛不能直视太阳，这点你也务必牢记。）伽利略的望远镜揭开了银河的面纱，人们以肉眼在耀眼的夜空中看到的朦胧闪烁的壮观景象，实际上是由千千万万颗离地球非常遥远的恒星组成的。

伽利略用望远镜进行了很多有意义的观察。他把这些写进了《星际使者》（*Starry Messenger*，1610）这本书中。一石激起千层浪。伽利略揭示的每一个发现都在质疑人们对天体的看法。有人觉得伽利略的理论就是他玩“管子”——当时望远镜的名字——的小把戏，因为肉眼看不到的东西也许根本不存在。因此，伽利略必须想方设法地让人们相信他用望远镜看到的就是事实。

伽利略的观测结果恰好为哥白尼提出的月亮围绕地球转，以及地球、月球和其他行星都围绕太阳转提供了证据，这更让世人不知所措，也令伽利略本人陷入险境。当时，哥白尼的书已经出版了快70年，不论是新教徒还是天主教徒，其中都有很多哥白尼的追随者。天主教会明确指出哥白尼学说有助于研究天体运动，但并不是真理。如果哥白尼是正

确的，那么《圣经》的内容就有麻烦了，此事必须三思而后行。

但是，伽利略执意将自己的天文发现公之于众。1615年伽利略到罗马申请教会的许可令，希望能够传播自己的研究成果。尽管他赢得了包括教皇在内的很多人的同情，但最终还是被剥夺了言论自由以及教授哥白尼宇宙体系的权利。然而，伽利略并没有彻底放弃，在1624年和1630年，年老体弱的伽利略重返罗马试水。日久天长，他逐渐醒悟到，只有保全自己，才能有机会使哥白尼的学说得见天日。他以三人对话的形式写了一本天文书籍《关于两种世界体系的对话》（*Dialogue on the Two Chief World Systems*）：其中一人代表亚里士多德，另一人代表哥白尼，还有一个主持人。伽利略以这种方式来对新旧宇宙观进行辩论，用中立的态度回避了对错的选择。

这是一本妙趣横生的书，秉承了伽利略一贯的文风。他使用了自己的母语——意大利文。（当时全欧洲的学者仍在沿用拉丁文。）伽利略在开篇就表明了自己的立场。他给亚里士多德的替身命名为“辛普利邱”（Simplicio），这是一个评论过亚里士多德的古人的英文名，而且那个人不是很聪明。书中的哥白尼（叫作“萨尔维阿蒂”，暗喻智慧和安全）浓墨重笔，能言善辩。

伽利略费尽周折地为此书争取教会的官方认可。罗马管理出版的官员虽然体谅伽利略，但是出于各种考虑没有立即回复。于是，伽利略锲而不舍地转战佛罗伦萨印书。罗马教会高层拿到书后大为不满，传讯这位古稀老人到罗马受审。更有人翻出了早期阻止他教授哥白尼体系的禁令。1633年，持续了3个月的“审讯”之后，伽利略被迫承认他的书是虚荣的错误产物。他在忏悔书中写道，地球是静止的，是宇宙的中心。有一个传言说在伽利略被宣判之后，他喃喃低语：“但它（指地球）还是在运动啊。”无论伽利略是否大声说出了这句话，他一定是坚信这一点的，神权永远不可能改变他对世界真相的信仰。

教会运用权力把伽利略关进监狱，甚至施加酷刑，但是陪审团意识到伽利略是一位了不起的人，所以判处他软禁，免了他的牢狱之苦。第

一次伽利略被并不严格地“软禁”在锡耶纳，自由自在地出席各种活动，结果教会强硬地把他赶出佛罗伦萨，遣返回乡，同时密切监视他的访客。没过多久，伽利略的一个当修女的女儿去世了，从此他变得孤苦伶仃，与科研为伴。他重新将注意力转到了落体运动和动力这类日常生活中常见的问题上。他出版于1638年的著作《关于两门新科学的对话》（*Two New Sciences*）是现代物理学的基础之一。伽利略在书中回顾了自由落体的加速运动，预见了后来经艾萨克·牛顿证实的重力，并用数学方式表明加速度是可以测量的。他开辟了分析空中物体飞行路径的新思路，比如预测炮弹的弹着点。这些有关“力”的概念——影响物体按照某种特定方式运动的规律——都属于物理学的研究范畴。

如果你曾听过“没有原因的反抗”，那伽利略的反抗可以说是事出有因。他为运用知识科学地解释世界而战。随着科学的发展，他的一些错误或片面的创新理论逐步被摒弃。但科学就是这样的，没有哪个领域可以让人一书在手就通晓全部。伽利略和现代的科学家一样，都深知这一点。

---

1. 这三个词在英文中都有相应的词根，可以“望文生义”。——编者注

第13章

循环、循环：哈维



“周期”和“循环”都来源于拉丁文“圆”。“绕圈”或者“循环”指无意识地回到起点的持续运动。自然界里没有那么多完美的圆圈，却有各种各样的循环。地球围绕太阳转；水通过蒸发和降雨实现循环；成群的鸟类经过长距离的迁徙再回到同一个地区产卵，年复一年，周而复始。事实上，整个生育、成长、死亡的自然进程，代代相传和重复就是一种循环。

我们的身体里也有很多循环或者说是周期，心脏和血液参与了最重要的循环之一。我们身体里的每一滴血每个小时在体内大约转50圈。在这句话中，只能用“大约”这个表述，因为这取决于我们在干什么。比如，奔跑时心跳加快，循环时间就缩短了；睡眠时心跳减慢，血液流回心脏的时间会延长。我们现在可以在学校里学到这些知识，但在以前可没有这么简单。发现血液循环的人是英国医生威廉·哈维。

哈维的父亲出身于农民家庭，后来由经商而家境殷实。他的6个兄

弟中有5个子承父业，但哈维选择从医。1600年，他从剑桥大学医学系毕业后前往帕多瓦大学。几年前，维萨里曾在那里工作，当时伽利略也在那里研究天文学和物理学。

法布里修斯（Fabricius，1537—1619）是哈维在帕多瓦大学的医学导师之一。他一贯秉持亚里士多德的研究传统，这深深地影响了哈维。师生两人从亚里士多德身上吸取了两条宝贵的经验。第一，包括人类在内的生命体，内部器官的形态结构都是由它们的功能决定的。例如，我们能跑，能够拿起东西，是因为骨肉相连。除非是什么地方出了毛病，否则我们永远意识不到它似乎只为这个作用而生。亚里士多德认为，动植物体内的每一件东西都有特殊的意义，创世者不会随心所欲地放些没用的东西在里面。眼睛的结构使我们能看见，身体的其他部位：胃、肝、肺和心脏都是一样的道理。各个器官使命不同，所以结构各异。这种分析人体机能的手段被称为“活体解剖”（living anatomy），它对找出人体运行的“逻辑”关系非常重要。医生们清楚，骨骼坚硬难摧，是为了在我们行走或跑动的时候支撑身体；肌肉柔软有弹性，因为它要通过收缩来帮助我们运动。不过，用同样的逻辑解释心脏、心脏和血液，以及心脏和血管的关系就不是那么轻而易举了。或者我们可以这样说，心脏符合我们设想的身体机能，那是因为哈维就是这样教导我们的。

第二，亚里士多德敲碎蛋壳看到的第一个生命体征是微弱的心跳，所以他坚信心脏和血液是我们生命的核心力量。哈维对这一观点深信不疑，所以心脏和血液循环成为他的医学事业的重点。

哈维的导师法布里修斯发现，很多较大的静脉里有瓣膜。这些固定的瓣膜保证血流只能朝心脏单向运动。他认为这样可以防止下肢缺血，预防血液从大脑奔涌直下。哈维从中大受启发，他完成帕多瓦的学业重返英国之后，淋漓尽致地实践了这些理论。

哈维的事业风生水起。他到伦敦实习，在圣巴托罗缪医院获得一份工作，很快便应邀给外科医生就解剖和生理学做了演讲。他是国王詹姆士一世及其子查理一世两代人的御医。不过，和查理一世的接触并没有

对哈维的事业起到多少推动作用，相反，当一群被称作“清教徒”的人将皇帝赶下台之后，哈维的住所遭到袭击、被人放火，很多待出版的手稿被毁。这是科学界的巨大损失。哈维长期的研究所涉内容庞杂，包括呼吸、肌肉，动物的受精卵如何发育等。查理一世甚至恩准他用皇家宠物进行实验。

哈维对血液一往情深，因为他认为是血液主宰着生命。他曾敲开一枚枚的蛋壳，一次次看到标志着生命的第一团血有节奏地脉动。他也用其他动物的胚胎（在卵或母亲的子宫中发育的阶段）进行了实验，所见相同。哈维对与血液长期为伴的心脏也爱不释手。众所周知，无论是人还是动物，心脏不跳动就意味着死亡。所以，血液是生命的起始，心跳终止是生命的结束。

多数情况下，心跳是一种不假思索的行为，不过偶尔你能真切地感知到自己的心跳。比如，当你紧张或惊慌的时候、兴奋难抑的时候，你能感觉到心脏一下下撞向胸口：砰——咚，砰——咚，砰——咚。哈维想要破解心脏的“动语”，即每次心跳的时候到底发生了什么。每一次心跳，心脏便会收缩和舒张一次。为了观察心脏的跳动，他解剖了很多活体动物，尤其是蛇一类的冷血动物（不能保持体温恒定的动物）。它们的心跳比我们慢很多，更便于观察。哈维看见心脏瓣膜伴随每次心跳有规律地开启闭合。心脏收缩的时候，心室间的瓣膜关闭，心脏和血管的通道开放；反之，心脏舒张的时候，心室间连通，心脏和血管（肺动脉和主动脉）的贯通被拦截。这些瓣膜的作用和法布里修斯的发现如出一辙，看上去都是为了保持血流方向。

哈维向别人演示了几次实验以证明自己的想法。其中一个非常简单：他在一只胳膊上绑上绑带（止血带），勒紧，完全切断手臂的血流，结果同侧的手变得惨白；然后，他将绑带松开一点儿，让血液可以流动但还是不能返回心脏，手的颜色逐渐变成深红色。这说明血液流过手臂需要一定的压力，但绑带彻底阻断了它。放松绑带可以让血液进入动脉，但是不能让其通过血管回流。

在无数次的认真观察和深入思考以后，哈维的认知终于取得质的飞跃。他统计出短时间内涌入心脏的血流量超出身体内全部血液的总和，所以一次心跳不可能制造足够的血液输出，更不用说供应给全身了。因此血液必须随每一次心跳流出心脏、流过动脉、经过血管再回到心脏，开始下一次新的“血液循环”。

1628年，哈维在短篇论著《心血运动论》（*De Motu Cordis*）里用拉丁文写道：“我个人认为血液一直在做循环运动。”他以描写心脏的收缩和舒张开篇，以它们的功能意义结尾。哈维总结道，血液被右心室压入肺部，从左心室流入最大的动脉——主动脉，然后分流到稍小的动脉，最后转入血管。那里的瓣膜确保血液沿正确的方向流淌，并且途径最大的血管——下腔静脉返回心脏的右心室。

哈维和维萨里一样，他们都相信实践出真知，希望通过亲自调研了解人体的结构和功能，而非简单地查阅资料。然而，他们的研究对象又是不同的：维萨里的对象是尸体，哈维的对象是活体。哈维知道自己的发现推翻了盖伦的心血管论，颠覆了2 000年来的医学教义，但他无心一争高下。一些盖伦的支持者认为哈维的学说太极端，双方有过一番唇枪舌剑。不过，哈维的理论有一个明显的缺陷：血液是如何从最小的动脉进入最小的血管开始返回心脏的，这个关键问题他没有回答。

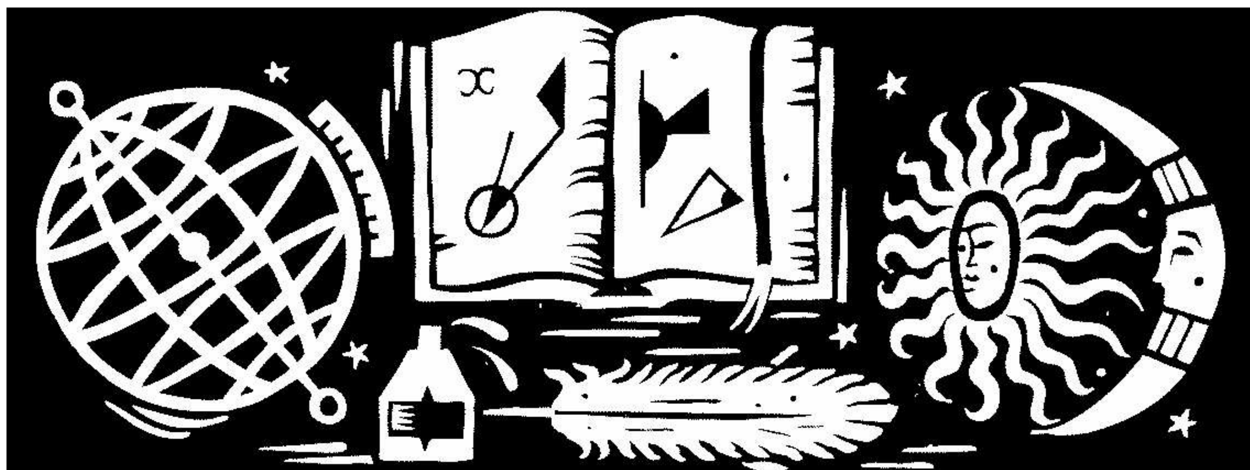
哈维带着这个困惑离开人世。他的追随者意大利人马尔切洛·马尔比基（Marcello Malpighi，1628—1694）是一位显微镜专家。这种新设备出现在16世纪后期，在马尔比基的时代得到进一步改良。因此，他比前人更透彻地看清了肺、肾等器官结构的细微之处，发现了最小的动脉和血管间不易为人察觉的通道——毛细血管，证实了哈维的血液循环学说。

哈维开创性的工作证明细致的实验可以拨云见日，越来越多的人接受他的观点，并且视其为生物和医学实验法的奠基人。哈维的方法鼓励了动手实践，更多人开始钻研其他的身体机能，比如呼吸时肺的变化及消化时胃的工作。哈维像维萨里和伽利略一样帮助人们意识到，科学知

识要与时俱进，我们能够比1 000年（甚至是50年）前的智者们对自然了解得更多。

第14章

知识就是力量：培根和笛卡儿



在哥白尼和伽利略的时代，科学令世界发生了翻天覆地的变化。地球不再是宇宙的中心，解剖学、生理学、化学和物理学的新成果提醒人们，前辈根本没有通晓一切，还有大片的空白等待填补。

人们开始思考科学自身的意义。最好的科学方法是什么？怎么确定新发现的可信度？如何善用科学舒适、健康、幸福地生活？有两个人对科学进行了尤为深入的剖析：一个是英国的律师兼政客，另一位是法国哲学家。

那个英国人叫弗朗西斯·培根[注]。他的父亲尼古拉·培根从一介草民平步青云，逐步成为伊丽莎白女王的重臣。他深知教育的重要性，所以送培根进入剑桥大学学习。弗朗西斯先后服侍了伊丽莎白女王和她的继任者国王詹姆士一世。他熟知英国法律，参与了几起重要审判之后成为大法官，是当时最重要的法律官员之一。他也曾当选国会议员。

培根醉心于科学。他投入大量时间做化学实验，观察自然界里各种稀奇古怪的现象，如动物、植物、气候、磁场，包罗万象。他分析了科学的重要性和科学的方法，他那些精辟、令人折服的论点比他的发现更有意义。培根告诫人们要看重科学。“知识就是力量”是他的至理名言，科学是获得知识的最好途径。为此，他劝说伊丽莎白女王和詹姆士一世出资建立实验室，为科学家创造工作环境。培根认为科学家应该组建社团或学术组织，交流彼此的思想和研究。他说，科学赋予人类了解自然的方法，只有了解它，才能控制它。

培根明确指出了科学发展的最佳途径。科学家的措辞必须严谨易懂；调查实践必须广开言论，不能自以为是地证明自己，最重要的是反复实验和观察，确保结论准确，这就是“归纳法”。比如，通过一次次的计算、称重或者化合物的混搭，化学家才能掌控进程。科学家收集的观察报告越多，归纳得越详细，他们的预见能力就越强。他们可以把这些归纳推而广之概括出自然运转的法则。培根的思想激励了一代又一代科学家，时至今日依然如此。

法国的勒内·笛卡儿(注)以不同的方式阐释了科学。他对哈维和伽利略的作品爱不释手、反复研读。笛卡儿和伽利略一样是天主教徒，也执着地认为宗教和对自然界的研究不可混为一谈。他和哈维一样研究人体和动物，解释那些盖伦从来没教过的身体机能。事实上，笛卡儿还在崭新的基础上搭建了科学和哲学的大厦，在这一方面，他比哈维和伽利略走得更远。虽说笛卡儿是今日家喻户晓的哲学家，但其实他更是一位比培根更注重实践的科学家。

笛卡儿出生在法国都兰图赖讷拉海。他天资聪慧，在卢瓦尔河区拉夫雷士的名校就读，那里如今是法国最好的葡萄酒产地。在拉夫雷士学校，笛卡儿接触到伽利略透过望远镜的发现、哥白尼的日心说和最新的数学成果。从普瓦捷大学法学系毕业以后，笛卡儿做出了一个惊人的决定：投笔从戎，参加了新教的部队。笛卡儿在这场席卷欧洲的战争（三十年战争）中度过了自己的青春。他的军旅生涯大概持续了9年，他没

有上过战场，尽管他的数学知识原本可以帮助士兵计算炮弹的弹着点。他同时与新教和天主教的部队保持联系，而且似乎哪里有重大的政治或军事事件，哪里就有他的身影。我们不知道笛卡儿做了什么，也不知道他马不停蹄的旅行的经费从哪里来。没准儿他是一个间谍——如果真是这样的话，他应该服务于他一直信奉的天主教。

在他早年游历期间，也就是1619年11月10日那天，笛卡儿正坐在生着炉火的屋子里，懒洋洋地打着盹儿，忽然冒出了两个想法。第一，如果想要最大限度地接近真理，那么就不能止步于亚里士多德等权威的圣言，只能依靠自己，一切从头开始。第二，唯有怀疑一切才可以从头来过。当晚，笛卡儿又做了三个梦。笛卡儿觉得这是在暗示他付诸行动。他没来得及留下只言片语，就踏上了战争的冒险之旅。在这个顿悟的一日一夜里，笛卡儿迈上了自己独辟蹊径解释宇宙万物之路，同时为他人树立了检验科学真理的标尺。

“怀疑一切”意味着首先永远不可以想当然，然后再跟随你确信无疑的东西步步深入。什么是确信无疑的东西呢？答案只有一个：正在规划这个科学和哲学问题的那个“他”。他在寻找触摸真相的方法。更简单地说，就是他在“思考”。笛卡儿用拉丁文写道：“我思故我在。”我存在是因为我在思考。

这句简单的表述是笛卡儿思想的出发点。听起来确实不错，但是我们不禁要问，“然后呢？”对于笛卡儿来说，它将直达遥远的终点：因为思考所以我存在，但是我可以想象即使没有肉体也能够思考。然而，如果肉体存在我却不思考，那么我就不可能知道肉体的存在。所以，我的身体和用来思考的部分（我的思想或者心灵）一定是彼此独立、迥然不同的。这就是二元论的基础：宇宙由两种截然不同的东西组成——物质（如人体、椅子、石头、行星、猫、狗）和意识（人类的心灵或者思想）。笛卡儿坚信，我们的思想——通过它我们知道自己的存在——在宇宙中占有特殊的地位。

人类是特殊的动物这一认识由来已久。我们具备其他动物没有的能

力：能读能写、了解世界的复杂性、生产喷气式飞机、制造原子弹。人类的特殊性并不是笛卡儿思想和身体两分论的独到之处，他的点睛之笔在于世界的另一部分——物质世界。他说，思想和物质构成了世界，物质是科学的主题。这意味着仅从物理层面就可以理解物质并非意识，我们身体的功能部分也属于物质；同时也表示所有的植物和除我们以外的动物都没有心灵，完全可以被分解成各具功能的物质。花草树木、游鱼和大象顶多算是一些复杂的机器。笛卡儿认为，它们都是可以被研究透彻的东西。

笛卡儿知道"自动机器"可以运动及完成特定的工作，我们称这种活生生的人形设备为"机器人"。17世纪，很多小镇的大钟上装有这种小机器人，它们通常是以一个男人的外形出现，在整点的时候出来敲钟报时。这种"机器人"在笛卡儿时代风靡一时（有些甚至保留至今）。人们一直在想——人类既然可以制造出如此精致的人物，既能动又能模仿人和动物——那么好一点儿的技工也许可以造出一只能吃会叫、可以走动的狗。笛卡儿对这些玩意并不感兴趣。在他眼里，植物和动物都是繁复缜密的机器人，无知地回应着周围的世界。它们都是物质，科学家可以借助机械原理和化学理论对其进行解释。笛卡儿读过威廉·哈维关于心脏的"机械"运动和血液循环的文章以后，认定这是对自己体系的有力证明。（他本人对血液进入心脏时引起的变化和血液循环理由的解释已经被忘得一干二净。）笛卡儿满心期待这个理论可以更好地解释健康和疾病的关系，最终为人类提供生活常识，即使不能使人永生，至少可以使人延年益寿。

笛卡儿如愿证明宇宙由精神和物质组成后，转而思考人的思想与身体的结合方式。他质问自己：物质有实体且占据空间，而精神恰好相反，没有物质基础、虚无缥缈，它们怎么可能结合呢？从希波克拉底时代开始，人们一直认为大脑负责思考。一个人的头上挨了一拳后可能会晕倒，很多医生目睹了大脑受伤或脑部病变引发的心理功能变化。笛卡儿一度认为，人类的思想固定在大脑中间的一个腺体上，不过他也意识到，按照他创建的逻辑，物质和精神永远不可能有身体上的依存关系。

后来，人们称这种模式为“机器里出鬼”，意思是人类像机器一样的身体被像鬼一样的思想和心灵所控制。如此一来就引发了一个问题：到底有多少狗、黑猩猩、马和其他没有“鬼”的动物分享了我们那么多的精神情感呢？应该如何解释，猫和狗会表现出恐惧和愤怒——至少狗是会向主人表达爱意的呢？（而猫总是自命清高。）

笛卡儿总是好奇地对很多事情一问到底，所以他写了一本书，简单地将其命名为《世界》（*The World*）。笛卡儿认同哥白尼关于地球和太阳的关系的学说，但是为了不冒犯教会，他在表述观点的时候比伽利略更加谨慎。他论述过自由落体运动和其他吸引伽利略的问题。不幸的是，虽然笛卡儿在当时有些追随者，但是他的宇宙运转理论还是不能和伽利略、艾萨克·牛顿这样的巨人的理论相提并论，所以现在很少有人记住作为物理学家的笛卡儿。

尽管笛卡儿并非物理界的精英，也不管你是否听说过，反正你只有跟随他的脚印才能用代数和几何解题。在代数中，笛卡儿睿智地用a、b、c代替已知量，x、y、z代替未知量。每当你计算$x = a + b^2$这类方程式的时候，就是在做笛卡儿开创的练习和运算。当你在有横轴和纵轴的图表上标记的时候，也是在应用他的发明。笛卡儿亲自解决了各式各样的代数和几何问题，并把它们汇总在一本书中出版。

笛卡儿通过对身体和意识的突出区别、物质世界和精神世界的显著差异的论述强调了物质世界对科学的重要性。天文学、物理学和化学解决物质问题。生物学也一样，就算他的“动物-机器论”似乎有点儿不着边际，生物学家和医生仍然在煞费苦心地研究动植物的生理机能。笛卡儿认为，不久之后就可以证明药物能够延长人的生命，可惜他没能赶上。笛卡儿在应邀前往瑞典给女王讲解他的哲学观和世界观之前，一直相当健康。他很怕冷，但是习惯早起的女王要求每天清晨开始授课。笛卡儿没有挨过在瑞典的第一个冬天，不幸生病。1650年2月，笛卡儿在距离自己的54岁生日还有7周的时候与世长辞。有些人认为他至少应该活到100岁，在这个岁数去世实在令人惋惜。

培根和笛卡儿都对科学怀有雄心壮志。尽管他们对科学有不同的期望，但他们对科学的前景同样乐观。培根是科学的铺路石，笛卡儿是科学的实践者。他们希望自己的观点能够后继有人，并且日益完善；他们坚信科学是超越平凡生活的特殊力量。科学值得付出，因为科学充实了人类的知识库，增强了我们把握自然的能力。从这个角度理解科学，将提升我们的生活质量、扩大公众利益。

---

1. 弗朗西斯·培根（Francis Bacon，1561—1626），英国文艺复兴时期最重要的散文家、哲学家。他不但在文学、哲学方面多有建树，在自然科学领域也取得了重大成就。——编者注
2. 勒内·笛卡儿（René Descartes，1596—1650），法国数学家、科学家和哲学家，西方现代哲学思想的奠基人，近代唯物论的开拓者。他提出了“普遍怀疑”的主张，其哲学思想深深影响了之后的几代欧洲人。——编者注

第15章

化学的新时代



如果你有一套化学实验用具，那么你应该知道石蕊试纸，这种小纸条可以测定溶液的酸碱性。如果你倒些醋在水里（令它变酸），然后拿这张蓝色的纸蘸一下，它就变红了。如果你改用漂白剂（它是碱性的），红色的纸则会变蓝。你再用石蕊试纸的时候，一定要想想罗伯特·玻意耳（Robert Boyle，1627—1691），是他在300多年前设计了这个实验。

玻意耳的家族在爱尔兰声势显赫，他是家里最小的儿子，衣食无忧。和很多富人不一样，玻意耳乐善好施，慷慨捐赠。他曾出资请人把《圣经》翻译成印第安语。宗教和科学在他的一生中如影随形，平分秋色。

玻意耳在英国贵族学校伊顿公学学习了几年就开始周游欧洲，在欧洲他有一长队的私人教师。在内战硝烟四起的时候，玻意耳回到英国，他的家人有支持国王查理一世的，也有支持议会推翻国王建立共和的。

玻意耳的姐姐说服他加入了议会党，并介绍他结识塞缪尔·哈特利布（Samuel Hartlib），一个不知疲倦的社会、政治和科学的改良者。哈特利布和弗朗西斯·培根一样相信科学是改善人类生活的动力，他劝说玻意耳学习农业和医学以实现这个目标。玻意耳最初选择了医学，却又在翻阅各种疾病疗法的过程中走上了化学之路，从此一生痴迷化学。

有些宗教人士自己对新思想敬而远之，也不希望自己的孩子与之接触，担心新思想会毁掉他们的信仰。罗伯特·玻意耳的宗教信仰根深蒂固，但正因如此他才能毫无顾忌地博览群书，以满足自己无边的科学兴趣。玻意耳年轻的时候正是笛卡儿和伽利略饱受争议的时代，但他仍然捧卷详读两人的作品，并在自己的工作中借鉴他们的远见。1642年，伽利略在佛罗伦萨去世。就在那一年，就在佛罗伦萨，玻意耳读到了伽利略的《星际使者》。玻意耳对古代原子学说充满兴趣（参阅第3章），但是他并不完全接受宇宙是“原子与虚空”的说法。玻意耳知道宇宙间有一些基本物质，并称它们为“微粒”，但他没有受到古代希腊原子论是不信神（无神论）的影响而顺着这个思路进行研究。

玻意耳通过实验否定了亚里士多德的四元素学说——气、土、火和水。他点燃了一根潮湿的木棍，证明冒出的烟不是空气；燃尽的木棍渗出的液体也不是普通的水；火焰因燃烧物的不同而变化，表明这也不是真正的火；剩下的灰烬更不是土。玻意耳不厌其烦地分析这个简单的实验，证明像木头这样普普通通的东西不是由气、土、火或水组成的。他还列举了其他材料，比如黄金不能再被分解。黄金受热会熔化、流动，但是它不会像烧过的木头那样面目全非，冷却后它还会恢复本来面目。玻意耳认识到我们的日常用品，比如木头桌椅、羊毛衣帽是复杂的混合物，但它们既不能被分化成古希腊的四大元素，也不能被还原成巴拉赛尔苏斯的三元素。他对元素的定义——“不能用任何东西制造，也不能相互制造”，已接近现在的定义，所以有些人认为玻意耳已经发展出了化学元素的现代定义。可惜他没有继续深入，也没有在自己的化学实验中实践之。

不过，玻意耳的实验如愿以偿地验证了他把“微粒”作为物质单位的设想。他是一个不知疲倦的实验者，在私人实验室里分秒必争地研究，不是和朋友一起就是独自一人。他还留下了非常详尽的实验记录。玻意耳在科学史上之所以占据特殊地位，部分原因就在于他对细节的这种关注。他和他的朋友希望科学是公开的、无私的，他们愿意与人分享成果。没过多久，他们就效仿巴拉赛尔苏斯，宣布发现了更大的自然秘密。身为一名科学家，你必须有能力向别人证明深奥的秘密，要么身体力行，要么诉诸笔墨。

玻意耳活动的科学圈子一直秉持这种开放的原则。17世纪50年代，他住在牛津，在那里创立了第一个以开放为理念的非正式社团；后来，大部分人迁往伦敦合并发展，在1662年成立了如今顶级科学社团之一的英国皇家学会的前身。他们知道自己做的正是弗朗西斯·培根500多年前所倡导的。玻意耳是俱乐部里提升众人才智的统帅。从一开始，“研究员”——皇家学会会员的称谓——就力求将新知识和讨论议题结合起来，并学以致用。

罗伯特·胡克（Robert Hooke，1635—1702）是玻意耳欣赏的合作者之一。他比玻意耳年轻几岁，聪明几分，来自与玻意耳家天差地别的穷困家庭，必须靠智慧养家糊口。胡克受雇于英国皇家学会，负责每场会议上的实验演示，逐渐成为使用和研制各种科学设备的行家。胡克设计了很多仪器，有测量声速的，也有观测狗和狗之间输血反应的。有些实验用狗在输入新血后看起来更加活泼好动，这激发了研究员对人体实验的热情。于是，他们尝试给人体输入羊血，但没有成功。在巴黎，一名受血者的死亡令他们放弃了这项实验。胡克在皇家学会每周例会上的任务就是准备两三个稳妥的实验，以调动研究员的兴趣，激发他们的灵感。

胡克属于最早一批把显微镜的作用发挥得出神入化的“饱学之士”（字面意义为“博学的人”，即我们现在说的科学家）。他用显微镜描绘了一个肉眼看不到的崭新世界，揭示了植物、动物和其他一些事物

不为人知的结构。例会上，研究员们聚精会神地透过显微镜观察。除了胡克的示范，他们还从另一位著名的显微镜学家那里获益匪浅，他就是荷兰人安东尼·范·列文虎克（Antonie van Leeuwenhoek，1632—1723）。他是服装贸易商，在闲暇时间打磨出了一种非常小的、能把物体放大200多倍的镜片。每次实验他都需要在金属架里安装不同的镜片，然后把要研究的小物体放在镜下观察。列文虎克的寿命很长，他毕生制作了大概几百块镜片。他在池水里发现了微生物，在牙垢中发现了细菌，他的显微镜下奇妙的东西不胜枚举。胡克也认为他的显微镜可以令每一位使用者接近自然，于是在1665年（伦敦瘟疫年）出版了《显微图谱》（*Micrographia*），引起了轰动。书中的很多插图令人目瞪口呆：他把苍蝇和虱子一类的昆虫放大到夸张的程度，这些图片很快风靡一时。书中记录了胡克利用显微镜对物体结构及功能的观察和推测。文中插入了一张可以做红酒瓶塞的橡树木屑图，胡克称这个小东西的结构为“细胞”。但这并不是我们今天所说的细胞，他只是使用了这个词而已。

无论是玻意耳还是胡克，他们都热衷于一种机械：气泵。他们的气泵和我们给自行车或者足球打气的原理一样。气泵有一个巨大的中空区，顶部有一个关上后严丝合缝的活动塞，底部有另外一个开口，气体在贯通的管子里流通。看起来没什么新鲜的，但它解决了当时的一大科学难题：创造真空，即一个没有空气、完全空荡的空间是否可行。笛卡儿曾经断言这根本不可能。（“自然界厌恶真空”是对这种观点最直白的表述。）但是，正如玻意耳的质疑所言，如果物质终归是由彼此独立的微粒组成，各具形态，那微粒间一定有空隙。他说，水受热蒸发变成气体，依旧是原来的微粒，但是气体比液体占据了更大的空间。经过无数次把液体加热转化成气体的实验后，他确信所有气体进入气泵后的表现一模一样。玻意耳和胡克得出一个结论，它就是我们所知的“玻意耳定律”：恒温条件下，气体体积与所受压力有特定的数学关系。气体周围的压力直接影响它的体积，所以若加大压力，气体被挤在有限的空间里将缩小其所占空间。（如果提高温度，气体膨胀，形成一股新的压力，

仍会遵循同样的基本原理。）不久后，玻意耳定律促成了蒸汽机的发展。请你记住他的名字，后面我们会讲到蒸汽机。

玻意耳和胡克利用他们的气泵确定了很多气体的特性，包括我们呼吸的“空气”。还记得吗，“气”是一种古老的元素，但是直到17世纪，很多人才真正明白包围着我们、养育着我们的空气非同小可。众所周知，这事关呼吸，每吸一口气，就有空气进入我们的肺。但除此之外空气还能做什么呢？玻意耳和胡克对木头和煤在燃烧时的变化都充满好奇。他们也想知道为什么血在流进肺之前是深红色，流出之后却变成鲜红色。胡克把这两个问题合二为一，他推测肺就像一个特殊的燃烧炉，呼吸、燃烧都与空气有关。胡克抛砖引玉，没有就此再研究下去。科学家们在胡克和玻意耳之后的一个多世纪里，就空气的构成和本质以及呼吸和燃烧的问题乐此不疲地重复和改进着他们的实验。

胡克几乎涉猎了所有的科学领域。他发明了一种由一套弹簧驱动的钟表（它极大地提高了计时的准确性），他琢磨化石形成的原因，同时也钻研光学。即使是关于我们前面曾经提到过的问题，他也有可圈可点的光辉业绩。欲知详情，请你转到下一章，看看运动和力学。胡克和艾萨克·牛顿在同一时间研究着同样的主题。你很快就会明白为什么大家对牛顿耳熟能详，对胡克先生却知之甚少了。牛顿自己便是原因之一。

第16章

这是怎么了：牛顿



我想知道你是不是见过和艾萨克·牛顿一样聪明绝顶的人，反正我是没见过。不过，你倒有可能见过和他一样令人不快的人。他脾气暴躁，几乎对所有的人嗤之以鼻，而且觉得所有的人都和他过不去。他神秘、自负，甚至会忘记吃饭。他的劣性不胜枚举，但是，他智慧过人、无人能及，即便他的思想和文集让人琢磨不透，他的才智依旧永载史册。

无论怎么评价，艾萨克·牛顿都不是一个招人喜欢的人。牛顿的童年相当悲惨。他出生前失去了父亲，出生后遭母亲遗弃。母亲一改嫁就把他扔在了姥姥家。他恨继父、烦祖父、不待见母亲和祖母。事实上，牛顿从小就不喜欢和人交往。他喜欢独处，是一个少年老成的孩子。那时，牛顿住在林肯郡，天资聪颖，所以被送到了离家不远的格兰瑟姆中学学习。在学校，他认真学习拉丁文（他用拉丁文写作和英文写作一样得心应手），但投入时间最多的活动则是制作钟表模型、机械零件和日

昬。

1661年，牛顿进入剑桥大学圣三一学院，照样我行我素。他本应该认真学习亚里士多德和柏拉图等先贤的著作，但他只是敷衍了事（牛顿习惯一丝不苟地记笔记，所以我们通过笔记便知道他读过什么）。牛顿真正的兴趣在近代，是笛卡儿、玻意耳和其他新科学的代表人物。博览群书固然不错，但牛顿还要靠自己。牛顿设计了很多新的实验，而他最大的智慧体现在数学和利用数学解析深层宇宙的奥秘之上。

牛顿在短短几年里不可思议地创造出了多条理论。这么高的效率，除了阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein，1879—1955，详见第32章）之外再无人能及。牛顿创造奇迹的时间集中在1665年和1666年，这也是瘟疫盛行的年代。当时剑桥大学的学生停课放假，牛顿回到母亲在林肯郡伍尔索普的家中。就是在那段时间，他看到母亲的花园里成熟的苹果纷纷落地。事情或许没有传说那般具有戏剧性，不过确实让牛顿联想到一个悬而未决的问题：为什么所有东西都会落到地上呢？

休假期间，牛顿忙于各种科学研究。以数学为例，伽利略、笛卡儿和很多自然哲学家（也就是科学家）一直在努力让数学成为一门独立的学科，尤其希望它可以作为检验观察和实验结果的手段。牛顿尤其擅长运用数学进行科研活动，是一位实至名归的数学大家。在描述物体运动和重力的时候，仅仅使用代数和几何是不够的。你必须要考虑到非常短的时间和运动单位——事实上，就是无穷小。在观察出膛的子弹、落地的苹果和围绕太阳运动的行星时，必须要代入最短有效时间内它们所经过的距离。很多之前的自然哲学家早就意识到了这个问题，并且给出了不同的解决方法。20多岁的牛顿用自己的数学方法独辟蹊径，并将其命名为“流数”（fluxion），取事物不停地运动之意，这就是我们现在所说的数学分支——微积分。1666年10月，在洋洋洒洒地完成了一篇论文后，只有牛顿知道他已身居欧洲数学之巅。不过牛顿并没有立刻将自己的研究公之于众，仅仅和几个熟人分享了他的方法和结论。

除了数学，牛顿还研究起了光学。从远古时代开始，人们一直认为

阳光是白色、纯净和同质的（由同一种物质组成），有时它之所以看上去五颜六色，是因为这种本质单一的光线被放大了。牛顿拜读了笛卡儿关于光线的作品，重复了他的一些实验。其中广为人知的一个实验是，牛顿准备了多组镜片和一个能折射光的玻璃棱镜，让一束光射进漆黑的房间，透过棱镜打在22英尺（约7米）外的墙上。如果光如笛卡儿等人所想是同质的，那么墙上的投影应该是一个白色的圆圈，和透光孔的形状一样。结果出人意料，出现在牛顿眼前的竟是一条色彩斑斓的宽带。牛顿并没有真的造出一条彩虹，不过，他已经踏上了揭秘彩虹的道路。

在瘟疫肆虐的那些年，牛顿从事的研究还推动了力学的发展：运动定律诞生了。我们知道伽利略、开普勒、笛卡儿等人对炮弹发射和地球围绕太阳转动的运动已经形成了一套理论（也给出了数学公式）。罗伯特·胡克同样对此十分感兴趣。牛顿研读了他们的文章之后阔步前行。他写信给胡克道："如果我取得了什么进步，那是因为我站在了巨人的肩膀上。"你还记得父母把你扛在肩头的感觉吗？你突然长高了两三倍，眼前尽是自己本来看不见的各类景色。牛顿就是从这里起步，他的比喻形象地说明，每一个研究者、每一代科学家都在前人的研究中受益。这是科学的本质。

牛顿本身就是一位巨人，当然他自己也知道。所以，当他感觉到被忽视的时候，麻烦来了。牛顿把最初的光学论文寄给皇家学会，而皇家学会把论文转交给做过相同研究的胡克进行评审。这就是我们称为"同行评议"的惯例，如今很多优秀的科学期刊还在沿用此法，科学家们也对这种公开的氛围大为赞赏。可是，牛顿一点儿也不喜欢胡克的评论，他甚至通过递交辞呈放弃皇家学会研究员的身份以示抗议。皇家学会不动声色地驳回了他的辞呈，而牛顿和胡克就此结下了梁子。

在17世纪60年代牛顿爆发出惊人的创造力之后，他把注意力转向炼金术和神学等其他事物。牛顿一如既往地认真做读书笔记和实验记录，为想要了解他思路的后人留下了文字档案。那时，他的这些想法和实践都是相当隐秘的，尤其是他的宗教观点更与英国国教会的教义背道而

驰。剑桥大学要求学生遵从教会的旨意。牛顿在大学里有强有力的后台支持，所以没有经过宣誓就被圣三一学院接纳并授予卢卡斯数学教授席位，他顶着这个头衔度过了20多年。这是牛顿之幸，更是科学之幸。不幸的是他的学生，他们听不懂牛顿在讲什么。有时候，牛顿的课堂空无一人。他侃侃而谈那些高深莫测的话题，比如光学和运动，却从来不提他私下钻研的炼金术和神学——也许这些更能激发起学生的兴趣。

直到17世纪80年代中期，牛顿在数学、物理和天文方面的研究才逐渐为世人所知。他笔耕不辍，但出版成书的作品却寥寥无几，因为他总是说他的科学作品是写给自己独享的，或者作为遗产留给后人。1684年，天文学家埃德蒙·哈雷（Edmund Halley）到剑桥拜访了牛顿。（哈雷彗星就是以哈雷的名字命名的。据推算，2061年它将再一次光顾地球。）哈雷和胡克一起讨论过一个物体绕另一个物体运动时的轨迹图形（例如，地球围绕太阳转，以及月亮围绕地球转的轨道）。他们研究引力是否影响物体的轨迹，我们现在称之为“平方反比定律”。引力只是这项定律中诸多因素之一，它表示引力随两物体间距平方值的加大而变弱；反之，当间距变小时，引力同比例增大。这种作用力是相互的，两个物体的大小也是决定因素之一。比如，一个物体是地球——巨大的地球，另一个是苹果——微不足道的小苹果，那么几乎全部的引力都来自地球。第12章中曾讲到伽利略利用“平方”解释过自由落体，后面我们还会陆续看到它的应用，自然界似乎很喜欢用“平方”把事物连接起来，无论是时间、加速度还是引力。所以，当你用到平方的时候（写成3×3＝9，或者3^2），想象一下“自然”会心的微笑吧。

哈雷的到访中断了牛顿对神学和炼金术的迷恋。牛顿转入正轨，并且开始撰写他最辉煌的、科学史上最伟大的书籍之一：《自然哲学的数学原理》（*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*，为牛顿用拉丁语所撰写），现在我们简称其为《原理》。（还记得吗，“自然哲学”是“科学”的旧称。）在书中，牛顿详细讲解了他对新数学的应用，还用数字代替文字解释了诸多物理原理。但是此书晦涩难懂，在牛顿的

有生之年，只有为数不多的几个人能轻松读懂。不过书中传递的信息广受赞许，它为观察和描述世界铺设了一条全新之路。

牛顿把他那著名的运动三大定律写进了《原理》。他对世界和天体的大部分观点都蕴含在这三条定律中。牛顿的第一条定律表明任何物体在不受任何外力时总保持匀速直线运动或静止状态，直到有外力作用迫使它改变这种状态为止。例如，如果没有风、雨或人等运动的外因，山边的岩石将永远一动不动；如果它被推动了，那么在没有干扰力（摩擦力）的情况下，它也将一直沿直线滚动下去。

牛顿第二定律阐述了外力可以改变运动物体的速度和方向。改变的力度取决于外力的大小，改变的方向沿作用力方向进行直线运动。假设空中飘着一个气球，你推一下它，它会移向另一边；你从上往下压它，它会快速地下落。

第三条定律总结出任何力都有一个相等的反作用力，即两个物体间的力相互作用，大小相等，但方向相反。你可以再拿气球试试，你拍它一下，它便会离开你的手，同时也在你的手上留下一个力（你能感觉到的）。如果你猛击一块巨石，石头不会动，可是你的手会被弹回来，而且很疼。这是因为轻的物体很难克服反作用力而去影响重的物体。（这和引力是同一个道理。）

这三条定律综合解决了早期自然哲学家困惑的问题。借牛顿之功，从行星运动到弓箭离弦，很多现象都有了解释。根据运动定律，我们可以把整个宇宙看作一台巨大的、有规律的机器，就像一块能计时的表一样，它有自己的弹簧、杠杆和运动。《原理》被奉为蕴含无限能量的天才之作，它把一个离群索居、惹是生非的人变成了名人。牛顿被任命为政府铸币厂的厂长，统筹城市经济，而且月薪不菲。他忘我地投入到新工作中，带着极大的热情追究伪造货币者，监督国家的货币供应。为此，牛顿不得不放弃剑桥的一切搬到伦敦。身为皇家学会的会长，牛顿在伦敦度过了生命的最后30年。

在伦敦的那些年里，牛顿对《原理》做了精心的修订，不但补充了

一些后期的作品，而且回应了各种质疑。科学家一贯如此。罗伯特·胡克去世不久，牛顿出版了第二本光学著作《光学》（*Opticks*，1704）。牛顿和胡克就谁率先在他们共同的实验中得出结论，确定了光的性质和运动规律而争论了很久。牛顿差不多在40年前就为这本书做了大量的准备工作，但是胡克在世的时候，他却迟迟没有将其出版。《光学》和《原理》一样无可替代。我们在后面的章节还会介绍书中的某些论点，那将是其他科学家站在牛顿肩上之时。

牛顿是第一个获得爵士头衔的科学家。作为艾萨克爵士，他享有权力，却并没有体会到快乐。他不能算是一个可爱的人，但他是一个伟大的人。纵观历史，他是最勇于创新的科学家之一。我们应当永远铭记他对人类了解宇宙所做出的杰出贡献。牛顿的《原理》是开普勒、伽利略、笛卡儿等很多人曾经勇敢追逐过的天文学和物理学的巅峰之作。他在书中把天体和地球归纳在一个系统中，总结出放诸四海而皆准的定律。牛顿用数学和物理的方法解释了行星的运动和物体落地的运动。他奠定的物理基础被科学界一直沿用到20世纪，终于，爱因斯坦等人证明，原来宇宙间还有更多艾萨克爵士没有考虑到的事情。

第17章

耀眼的电火花



你有没有好奇过稍纵即逝的闪电到底是什么，为什么还有隆隆的雷声尾随其后？电闪雷鸣在高空狂野地上演，即使你知道它们的成因，照样会觉得它太不可思议。闪电经常会击中地面，所以18世纪早期就有科学家对落在家门口的闪电穷追不舍。

科学家同时也在苦苦思索磁力问题。古希腊人知道，使劲儿摩擦琥珀可以把附近的小东西吸过来。这股力量的来源在那时是一个深奥的问题。它似乎和另一种石头——天然磁石——能持续吸引含金属物体的力不是一回事。就像北极星可以指示方向一样，天然磁石可以引导旅行者；它是一块特殊的石头，悬浮的时候会随意摆动，但总是指向磁极。英国医生威廉·吉尔伯特（William Gilbert）于1600年在文章中提到“磁力”一词。人们习惯用这种矿石把针磁化，在16世纪中叶的哥白尼时代，海员已经使用原始的罗盘识别方向，依据就是罗盘转动时指针总有一头指向北方。电流和磁场引发的有趣效果是学术界津津乐道的主题，

也是普通人茶余饭后的游戏。

不久，人们发现如果让一个玻璃罩绕着一个点旋转并且摩擦它，可以获得更大的能量。当火花被聚集到玻璃上的时候，你不但能感觉到，而且能听到声音。这个设备就是莱顿瓶的雏形。以诞生地命名的莱顿瓶是一名大学教授于1745年在荷兰莱顿发明的。这个仪器是这样的：用一条金属丝把一个装有半瓶水的瓶子和发电机连接起来。这根连线叫作“导体”，它可以把神秘的能量“引”入有水的瓶子，然后将其储存在里面。实验助理在实验过程中碰到了瓶壁和金属丝，突如其来的电击让他以为自己必死无疑。实验报告出来后引发轰动，莱顿瓶供不应求。曾经有10个僧侣手拉手地尝试：第一个人触摸莱顿瓶和导体的时候，所有人都同时受到一震。电击似乎可以从一个人传到另一个人。

这到底是什么？除了用来娱乐之外，这是一系列亟待解释的严肃的科学问题。就在五花八门的说法满天飞的时候，有一个人捋清了头绪。他就是本杰明·富兰克林（Benjamin Franklin，1706—1790）。你应该知道他是美国的开国功臣，在美国成功地摆脱英帝国统治获得独立的时候，他参与起草了1776年的《独立宣言》。他机智诙谐，受人欢迎，而且具有一种亲民的智慧。比如，他说过“时间就是金钱”和“在这个世界上，除了死亡和税收，再没什么是可以确定无疑的了”。当你坐在摇椅上，或看见有人戴着双焦镜的时候，不要忘了这些都是富兰克林的发明。

富兰克林通过勤奋地自学获得了渊博的知识，包括科学。无论是在法国、英国还是美国，他都如鱼得水。他那个著名的风筝实验就是在法国完成的。18世纪四五十年代，很多人痴迷于莱顿瓶，富兰克林也不例外。人们借他之手眼界大开。首先，富兰克林发现了正极和负极，就是你在电池两头看到的“+”和“-”号。他说，在莱顿瓶里，金属导线和水是电流的正极，即“+”，瓶子外面是负极，即“-”。正极和负极带有同等电量，互相抵消。富兰克林通过进一步实验证实，真正的电能储存在玻璃里。于是，富兰克林在两片铅之间加进一块玻璃做成了一种“电池”（英

文中“电池”一词是他创造的），把它和电源连接便可以开始充电。遗憾的是，他没有继续深入地研究下去。

富兰克林并不是第一个对地上的人造电火花与天上闪电之间的关系冥思苦想的人，但他是第一个用莱顿瓶探寻个中原因的人。富兰克林设计了一个巧妙而危险的实验。他推断大气中的电聚集在云的边缘，就像莱顿瓶那样。空中雷声轰鸣，层云翻滚，当两片云碰撞的时候，就会有电释放出来——一道闪电划过。富兰克林在一场暴雨里放飞了一只风筝以验证自己的推测。放风筝的人必须做好绝缘保护（在风筝轴的把手上涂蜡）和“接地”（他把电线的一头绕在身上，另一头拖在地上）。如果没有这些防护措施，他可能遭到雷击而丧命。的确有一个倒霉的实验者因为没有遵守富兰克林的步骤而命丧黄泉。风筝实验证明，闪电的电和莱顿瓶里的电一模一样。

一开始是引力，现在是电学，天空中和大地上的事物之间的联系变得越来越紧密。

富兰克林对电的研究迅速得到实际应用。他发现一根带有尖头的金属杆可以把电引向地面，那么在建筑物的房顶上安装这样一根杆子，再用一个绝缘体一直连到地面，就算被闪电击中也不会着火了。那时的建筑几乎都是木屋，偶尔还有茅草搭的顶棚，防火是头等大事。因此避雷针应运而生，它的名字自始至终没有变过，即使到了现在，我们也会在诸如洗衣机、冰箱一类的电器插头里加入一根绝缘线分导多余的电荷，这就是地线。富兰克林给自己的房子装了一根避雷针，消息不胫而走，于是避雷针变得随处可见。人类对电的了解带来了深远的影响。

电学是18世纪最让人兴奋的科学领域，层出不穷的“电学专家”对现代电学的贡献劳苦功高。其中有三位远近驰名的杰出人物。第一位是喜欢琢磨电子设备和动物的路易吉·加尔瓦尼（Luigi Galvani，1737—1798）。他是医生也是老师，在博洛尼亚大学教授解剖学和产科学（有关分娩的医学）。不过，他对物理学的兴趣更浓厚一些。在研究肌肉和神经的关系时，加尔瓦尼发现当用电刺激青蛙的神经时，青蛙的肌肉就

会收缩。深入观察后，他把肌肉比喻成可以生成和释放电流的莱顿瓶。加尔瓦尼说，电流是动物重要的组成部分，他称之为“动物电”，并且认为这是动物身体机能的基本要素。事实证明他是正确的。

物体释放表面电流的时候会制造静电电击，也称作“流电刺激”。科学家和电学家利用电流表测算电流。但是，加尔瓦尼的“动物电”学说却成了众矢之的。反应最强烈的是来自意大利北部科莫的科学家亚历山德罗·伏打（Alessandro Volta，1745—1827）。他很看不起那些涉足物理界的医生，所以他准备出手推翻动物电学说。伏打和加尔瓦尼就后者的实验公开辩论。伏打做了充分的准备，要使加尔瓦尼一败涂地。首先，他在电鳗身上进行实验，发现确实有电流产生。但他相信尽管如此也不能增强加尔瓦尼动物电学说的说服力。更重要的是，后来伏打发现把锌和银一层层地堆起来，中间用湿板隔离之后，也可以产生上下贯通的电流。他把这个成果命名为“电堆”，并报告给了伦敦皇家学会。就像莱顿瓶一样，电堆在英国和法国引起了轰动。

那时，法国正急于征服北意大利，法国皇帝拿破仑·波拿巴听说此事后授予这名意大利物理学家一枚勋章。19世纪初期，伏打电堆无可替代地成为实验室研究的稳定电源。它提高了富兰克林电池的实用性，从此电池成为我们生活中必不可少的物品。我们通过电能的计量单位“伏特”永远记住了伏打本人——下次你换电池的时候可以看看包装上有没有这个词。

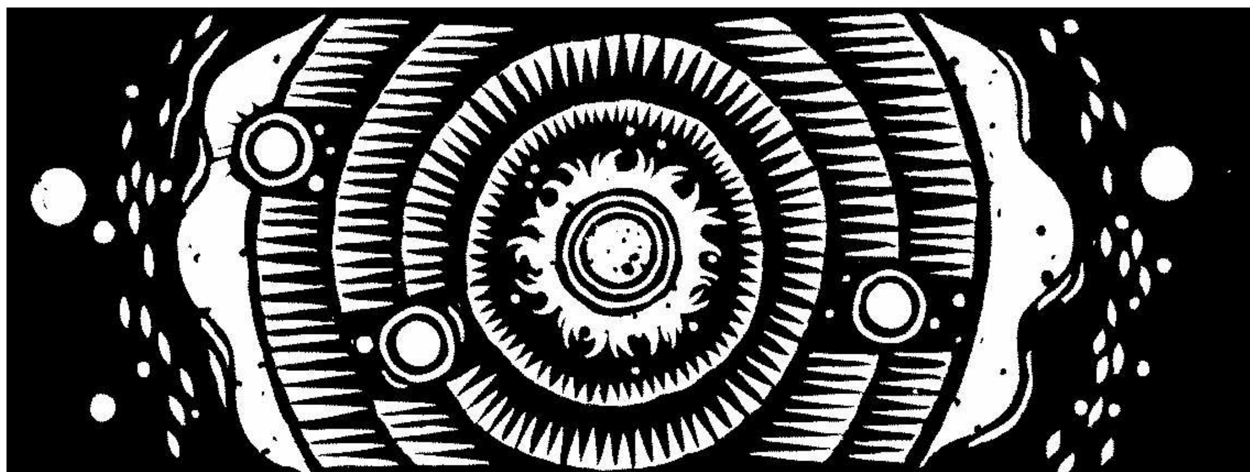
第三位伟大的电学家（也是令人钦佩的数学家）叫作安德烈-玛丽·安培（André-Marie Ampère，1775—1836），我们用他的名字“安培”命名了另一个电的计量单位——电流。安培的父亲在法国大革命期间被送上断头台，大革命留下的伤痛伴随了他的一生。他的个人经历十分悲惨。他深爱的结发妻子在生第三个孩子时离世，第二任妻子整天闷闷不乐，最终与他离婚。安培的一生总是在为钱发愁，子女们处境凄苦。虽然安培的生活一团糟，但是他总结出了一些数学和化学的基础知识，尤其重要的是创立了他自称为“电动力学”的学科的基本原理。这是一门把

电与磁连在一起的复杂学科。删繁就简，安培用一目了然的实验证明，磁性就是运动中的电。迈克尔·法拉第（Michael Faraday，1791—1867）和詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831—1879）的工作巩固了他的学说。（我们很快就会详细地了解这两位后来的电磁学巨星。）虽然后来的科学家证明安培理论的很多细节并不适用，但是他开启了电磁学研究的先河。请务必记住，有时出错也是科学的一部分。

安培去世的时候，人们在研究电力的科学之路上已经走了很久，差不多可以把它掌握于股掌之间了。富兰克林的工作也日趋平常，虽然它曾经意义非凡，但和加尔瓦尼、伏打、安培那些在实验室里操作精密仪器的人比起来，富兰克林只能算是有天分的外行。加尔瓦尼最终略胜伏打一筹，笑到了最后：现在我们知道，电在肌肉和神经的相互作用上起到了关键作用。

第18章

像钟表一样运转的宇宙



1776年的美国革命（也叫美国独立战争）、1789年的法国革命和1917年的俄国革命纷纷成功地组建了新的政体和新的社会秩序。还有一场革命，叫作“牛顿的革命”，很少人听说过，却同样意义深远，数十年间持续发挥作用，影响巨大。“牛顿的革命”描述了我们生活的世界。

1727年，牛顿去世，但他仍是18世纪的领军人物。各个领域都有人在努力争做本行业的“牛顿”。亚当·斯密[注]想要成为经济学界的牛顿，有些人称威廉·库伦[注]为医学界的牛顿，杰里米·边沁[注]不遗余力地想要成为社会和政治改革方面的牛顿。他们梦寐以求的是一条可以融会贯通各自专业的定律或者原则，就像牛顿的万有引力对宇宙维持规律而壮观的运行的解释一样。诗人亚历山大·蒲柏[注]曾经戏称：“自然和自然的法则隐藏在黑夜里/ 上帝说，‘让牛顿去吧！’/ 于是一切豁然开朗。”

作为一个英国人，蒲柏偏向自己的同胞。牛顿生前在法国、德国和

意大利已经声名远扬、广受认可，不过，那些地方也延续着各自的科学传统。在法国，笛卡儿的宇宙机械论余威不减；在德国，人们对谁是微积分的创始人争论不休，G.W.莱布尼茨（G. W. Leibniz，1646—1716）的崇拜者们坚称他对微积分的贡献比牛顿大得多；在英国，牛顿的魅力引来了无数自称“牛顿迷”的追随者，他们在数学、物理、天文和光学领域实践着牛顿光辉的理念。

渐渐地，牛顿的光学实验和运动定律主导了欧洲的思想。一个最让人始料不及的支持者提高了他的声望，这个人就是伏尔泰（Voltaire，1694—1778）。他是诗人、小说家，最著名的创作是一篇冒险故事中可爱的主人公赣第德（Candide）。赣第德生活在接连不断的灾难之中，总是祸不单行，但他从来没有忘记自己的哲学：上帝创造的世界“一定”是最棒的。所以，他依旧兴高采烈，相信无论遇到多难的事，都是“最美世界”的最好结局。（在经历了令人胆战心惊的种种之后，他终于决定留在家里打理花园：这还真是一个相当不错的建议。）

赣第德是对和牛顿竞争微积分之父地位的哲学家莱布尼茨的暗讽。伏尔泰是牛顿的超级粉丝，一个纯英式做派的人。他在英国住过几年，对那里的言论自由和思想开放印象深刻。（伏尔泰在法国曾因批判天主教会和国王被软禁，所以对言论自由的意义深有体会。）离开英国时，伏尔泰已经对牛顿佩服得五体投地，于是写了一本通俗易懂的书向法国百姓介绍牛顿的思想。这本书在欧洲读者如潮。人人都在谈论牛顿的学说，用它们来解释天体运行、潮涨潮落、弹道走势，当然还有苹果落地的数学和物理。

牛顿一步步赢得了至高无上的荣誉，这是因为他在《原理》中提到的数学工具及物理工具确实有用。数学家、物理学家和天文学家利用《原理》中的科学方法解开了无数牛顿一带而过的难题。科学研究永无止境，对牛顿来说也不例外。很多人庆幸自己可以站在巨人牛顿的肩膀上。实事求是地讲，牛顿的确在很多方面开阔了他们的视野。

让我们看3个实例吧：潮汐的起因、地球的形状和太阳系行星的数

量及运行轨道。

潮涨潮落，退潮的时候海水“远去”，我们要走很远才能扑进海里游泳；涨潮的时候海水“凑近”，它能冲走你的沙子城堡。潮水是有规律可循的，这对海员至关重要，因为他们要在涨潮时驶进港口。亚里士多德曾绘制出潮汐和月亮的关系。此后人们普遍认同地球是转动的，而且有人把潮汐的涌动比喻成倾斜的水桶里晃来晃去的水。然而对牛顿而言，引力才是关键。他推断月亮越靠近地球，“吸引力”越大。（就像地球围绕太阳转一样，月亮围绕地球做椭圆形运动，它们之间的距离会规律地变化。）月球的吸引力把海水引向自己。随着地球的转动，大海的某一区域离月亮渐近渐远，引力也随之增强减弱，这样我们就看到了海洋规律性的起伏，这就是涨潮和退潮。牛顿认为引力才是潮汐的原因，他是正确的。

随后，牛顿迷们改进了大师的计算。瑞士医生丹尼尔·伯努利（Daniel Bernoulli，1700—1782）在1740年做出了一个更精确的潮汐分析。他对数学、物理和航海的兴趣远远胜过医学，他在弦的颤动（我们在弹吉他时会遇到）和钟摆（请看看祖父的挂钟）的运动方面也有所贡献。他还优化了船的设计。在巴塞尔大学，伯努利也借鉴牛顿的数学法分析问题，比如他认为肌肉以收缩、变短的方式促使四肢运动。那时，学术界总是设置问题激励众人思考，并奖励提供最佳答案的人。伯努利和其他几人共同分析了潮汐现象的起因和太阳引力的作用，回答了巴黎科学院的提问，并共同获奖。当两个物体（比如地球和月亮）相互吸引时，数学运算会比较容易。但现实中，太阳、行星和其他有质量的物体把情况变得更加复杂，数学运算就变得异常复杂和困难。

巴黎科学院也参与讨论了牛顿学说的第二个重点问题：地球是一个圆球吗？很明显，地球的表面并不像台球那样光滑，而是有着高山和峡谷。那么，它的形状应该是圆的吧？牛顿的回答是否定的，他证明赤道和北欧两处的引力大小有少许差别。为此，他做了一个钟摆的实验，钟摆受地球引力的影响来回摆动；引力越大，摆动越快，完成一个摆动所

需的时间越短。船员准确地测量了钟摆一秒钟扫过的距离，比较后发现，在赤道地区钟摆扫过的距离稍短。这个结果告诉牛顿，从赤道到地球中心的距离更远一些。如果地球是一个标准的圆球，那么任何地方到球心的距离应该相等。牛顿的结论是，地球实际上像被压过一样——南北两极扁，赤道微微隆起。他认为这是地球在从液体状态冷却成形的最初阶段绕南北轴旋转的结果。牛顿暗示，这意味着地球的年龄超过了6000岁，但他从来没有说过他认为地球到底有多老。

18世纪30年代，法国科学家在探讨牛顿的结论时，很多人拒绝相信地球的形状如此怪异。所以，法国国王路易十五派出了两支考察队，一队前往北极圈附近的拉普兰，另一队到了赤道附近的秘鲁——如此大费周折只是为了验证一个简单的事实。他们要分别测量出一条纬线的准确长度。纬度是地球南北轴的计量标准，赤道是0度，南极是＋90度，北极是-90度。（一圈正好是360度。）在世界地图上，你会看到一条条纬线从这边连到那边。如果地球是正圆形，所有纬线都应该一样长。拉普兰队（他们不需要长途跋涉）比秘鲁队早回来9年，测量出的数值也大一些，与牛顿的猜想完全吻合。牛顿在欧洲大陆声名鹊起。

全欧洲的天文学者都想通过对恒星和行星的观察，来预言它们的轨迹和每晚（或者每年）它们即将出现的位置。随着观测时间的累积和数学分析法准确率的提高，他们的预测越来越准。天文学家架起更大的望远镜观测更远的太空，去发现新的恒星，乃至新的星系。其中最著名的是从德国到英国避难的威廉·赫歇尔[注]。他是一位酷爱天文学的音乐家。1781年的一个晚上，赫歇尔注意到一个新天体，他肯定那不是恒星。起初，他猜那可能是一颗彗星，并且向当时居住的巴斯当地的天文学团体进行了汇报。他的观测引起了大家的兴趣，人们很快证实那是一颗新的行星，最终以希腊神话中的人物将其命名为天王星。

新发现改变了赫歇尔的人生，于是他全心致力于天文学研究。英国国王乔治三世出自德国王室，很关注赫歇尔的研究。在乔治三世的赞助下，赫歇尔建造了当时全世界最大的望远镜，后迁至靠近温莎皇家城堡

的地方定居。从那以后，赫歇尔一心扑在天文上，从没有错过一次夜间观测。赫歇尔的妹妹卡罗琳（1750—1848）是他的得力助手，后来也成了天文学家。他的儿子约翰（1792—1871）子承父业。赫歇尔一家成为名副其实的天文之家。

威廉·赫歇尔不但观测恒星、行星和其他天体，而且还对它们进行了深入分析。他拥有当时最先进的望远镜，所以看得更远。赫歇尔编写的星团表全面而准确，史无前例。他觉察到我们所处的银河系不是宇宙中唯一的星系；他锲而不舍地分析"星云"——空中模糊的白色絮状带。肉眼在晴朗的夜晚偶尔可以看见其中的几块，而赫歇尔透过望远镜看到的更多。如果我们目不转睛地盯着银河系深处，它就变成模糊的一片，因此天文学家一直认为星云就是恒星的小集团。赫歇尔却宣布，也许有一些是，但其他的则是星云在太空深处翻滚的庞大气团；他看见的"物理双星"——两颗离得很近的恒星（是的，考虑到我们比较的范围，它们可以说是很"近"了），证明这是相互吸引的结果：牛顿提出的引力由此被延展到外太空。

牛顿的万有引力和运动定律、对力（能量）的数学分析、加速度和惯性（保持物体直线运动的趋势）成为18世纪自然哲学家的指导原则。有一个法国人把这些理论运用得炉火纯青，无人能比，他就是皮埃尔-西蒙·拉普拉斯[注]。拉普拉斯在法国大革命中毫发无损，比他的同行拉瓦锡（Lavoisier，我们将在第20章介绍他）幸运得多。由于受到拿破仑的器重，拉普拉斯主导法国科学界长达半个世纪之久。拉普拉斯结合牛顿运动定律和自己的数学方法来证明，人们在天空中看到的是可被解释的，行星、恒星、彗星和小行星的运动趋势也可以被准确预测。他发展了一套包括太阳和发现的行星在内的太阳系理论：太阳系在一次超级大爆炸以后一直燃烧了几千万年，其间太阳释放出大量炙热的气体，这些气体逐渐冷却形成行星（以及它们的卫星）。他将其称作"星云假说"，并用复杂的数学计算加以论证。拉普拉斯描述的正是我们所说的"宇宙大爆炸"（参阅第39章）。当然，现在的物理学家比他知道的丰富得多。

拉普拉斯对牛顿运动定律推崇备至，他认为，倘若我们能够知道特定时刻下每颗微粒的位置，就能预测出整个宇宙的最终归宿。当然他明白这是不可能实现的。他只不过是要说明万物皆有规律可循，宇宙的运转就像一座精致的大钟，分秒不差。拉普拉斯的“宇宙钟表机械论”影响了此后100年间的科学家。

---

1. 亚当·斯密（Adam Smith，1723—1790），经济学的主要创立者。——译者注
2. 威廉·库伦（William Cullen），苏格兰医生，他首次提出神经症的概念。——译者注
3. 杰里米·边沁（Jeremy Bentham），英国的法理学家、功利主义哲学家、经济学家和社会改革者。他是一个政治上的激进分子，亦是英国法律改革运动的先驱和领袖。——译者注
4. 亚历山大·蒲柏（Alexander Pope），18世纪英国最伟大的诗人，杰出的启蒙主义者。——译者注
5. 威廉·赫歇尔（William Herschel，1738—1822），英国天文学家、古典作曲家、音乐家。恒星天文学的创始人，被誉为恒星天文学之父。英国皇家天文学会第一任会长。——编者注
6. 皮埃尔-西蒙·拉普拉斯（Pierre-Simon Laplace，1748—1827），法国数学家、天文学家和物理学家，以对太阳系稳定性的研究以及关于磁、电和热波传播的理论而闻名。——编者注

第19章

给世界排序



我们的星球是形形色色的动物和植物的家园。我们一直没搞清楚地球上到底有多少昆虫和海洋生物，倒是一直担心人类活动导致它们数量减少。大熊猫和孟加拉虎这样的“濒危物种”几乎每天出现在新闻上。我们普通人往往关注“濒危物种”中的“濒危”，但对于科学家来说，“物种”这个词同样重要。我们怎么知道大熊猫和灰熊不是同一种动物？如何区分野猫和我们迷恋的宠物猫？

在《圣经·创世记》（下文简称为《创世纪》）里，亚当的任务是给伊甸园里的动植物起名字。不同的人类群体对身边的生物界有不同的归纳体系。无论植物（种植的抑或采集的），还是动物（充当运输工具或者供肉供奶），在人类的各种语言中都有各自的名字。

17—18世纪，欧洲探险家从世界各地带回新品种的动植物：它们来自南美、北美、非洲、亚洲地区，以及澳大利亚、新西兰，还有汪洋中的岛屿。很多新物种和“旧世界”里人们熟悉的动植物千差万别，但是人

们经过细致的研究发现，其中很多都是万变不离其宗。比如，印度和非洲的大象似乎更适合用同一个名字。当然，它们存在微弱的差别。我们应该怎样对待千变万化的自然中这些无足轻重的差异呢？

这里有两个古老的基本答案。第一个答案是“地”大物博，在地球上遥远的地方找到不计其数的新物种不值得大惊小怪。持该观点的人认为这些新发现只是充实了博物学家的“存在巨链”。（你可以回到第5章重温一下。）他们辩称，无所不能的上帝已经创造出一切可能的物种。大海里的鲸鱼和海豚看起来像鱼，但它们像陆生动物一样呼吸和生育；蝙蝠有鸟一样的翅膀，会飞行，但是不产卵。博物学家用“存在巨链”的不同环节解释千奇百怪的动植物，所以当他们看到一种动物带有其他动物的特征时一点儿也不惊讶。有一种由来已久的提法，说这条巨链上有“缺失的一环”，当一块重要的新化石被发现的时候，你就会听到这种说法。

第二个答案是：上帝最初创造动植物的时候，每种只有一个。我们看见的自然多样性是代代更新的结果。橡树长出橡果孕育小苗、幼苗成树、树再成林；小猫生出猫崽、猫又生猫，无穷无尽，这是一回事。一代、百代，甚至千万代，树和猫的分支越来越多。日积月累的变化导致了自然界极为丰富的多样性，但是追根溯源，每一种动物和植物都有上帝创世的雏形。如果画张图展现上帝的意图，那就是一棵“生命之树”。

18世纪有两位博物学家在这些问题上独占鳌头，恰巧他们还是各执一词、互不相让。一位是法国贵族德·布丰（Comte de Buffon，1707—1788），原名乔治-路易·勒克来克（Georges-Louis Leclerc），他把自己的一生献给了科学。他半年住在自己家，半年待在巴黎，管理那儿的皇家花园——它更像现在的动物园和野生动物园。早期，布丰是牛顿的超级崇拜者，欣赏牛顿的物理和数学理论，后来，他把自己漫长一生的主要精力倾注在对自然界的观察上。布丰的目标是描述地球和地球上的所有生物。他把周密的研究成果完整地收编成书，一共36卷，简洁地将其命名为《自然史》（*Histoire naturelle*）。那时“史”还含有“描述”的意

思。布丰在这些内容里记录了他所了解的所有动物（及少量植物）。

布丰尽可能地描述了他对动物的全部了解：它们的骨骼、运动方式、饮食、繁育、对人类的意义等。这是一个尽可能地在动物的环境里观察动物的极好尝试。他在书中收录了大量已知的哺乳类、鸟类、鱼类和爬行类动物。布丰从1749年开始一卷接一卷地埋头苦写，差不多用了40年才完成这部巨著，每次读者都捧着新书如饥似渴般地等待下一卷。《自然史》有大部分欧洲语言的译本。

布丰着迷于他所研究的每一只动物的每一个特征。他著名的口头禅“自然只认识个体”意在表明自然界中没有排序，无非是很多独立的植物和动物。人类想方设法地把它们分门别类，只是为了满足自己的需求。关于“存在巨链”的说法，布丰认为自然物种的体量如此庞大，因此一次只能研究一个。

布丰的劲敌是瑞典医生和博物学家卡尔·林奈（Carl Linnaeus，1707—1778）。他虽然学医出身，但真正的兴趣是植物。他大半生都在瑞典北部的乌普萨拉大学（University of Uppsala）当教授。林奈张罗了一个植物园，让学生满世界去收集动植物标本。有些学生死在旅途中，但追随者仍然为了林奈宏伟的目标前仆后继，他们要给地球上的每一种东西准确命名。出于命名的需要，林奈把它们进行了“归类”，也就是定义它们的基本特征，这样就可以把它们归入“自然序列”里。1735年，不到30岁的林奈出版了一本小书《自然系统》（*The System of Nature*）。这本小册子实际上是按照“属”把所有已知动植物进行分类。他不断地对目录进行扩充，尤其是增补了他的学生远渡重洋到美洲、亚洲和非洲等地的发现。在林奈的有生之年，这本书一共发行了12版。

从古希腊开始，自然学者就一直困惑于世间万物是不是有“自然”的分类。它们是永恒的吗？它们之间的联系是上帝赋予的吗？倘若果真如此，该怎么证明呢？在基督纪元里，最盛行的推断是上帝在创世之初创造了动物和植物的各类物种，然后让亚当为它们命名，我们现在看到的不过是时间和机遇的产物。

林奈支持这个观点，但他意识到动植物已经和它们最初的样子已经相去甚远。这种变化使“自然”分类难上加难。林奈认为首先应该建立一些简单的规则给世间万物排序分类，然后再给它们贴上明确的标签。这是他的人生目标。他觉得自己就是第二个亚当，要给生物准确的名字。如果动物学家或植物学家无法明确狗的品种或者百合花的种类，他们怎么讨论它们呢？所以，必须对自然分门别类，万物都在其正确的位置上时，我们才可以谈科学研究。

林奈几乎完成了所有的分类工作：矿物、疾病、植物和动物，他还勇敢地把人类加进动物的目录。事实上，我们一直沿用他启用的生物学名称“*Homo sapiens*”，寓意是“智人或者有意识的人”。很多以前的自然学者局限在所谓的“自然界”的范畴里，把人类排除在研究体系之外。林奈的父亲是一名牧师，林奈本人也是虔诚的信徒。林奈指出，既然没有生物学的解释说明人不是动物，那么人就应该和狗、猴子一同被纳入他的自然体系。

林奈在他的分类学（分类的科学术语）中提出了两个重要的命名概念“属”和“种”。他习惯用一个大写字母表示“属”（这种用法沿用至今），小写字母代表“种”：比如人的命名“*Homo sapiens*”。同一“属”的动植物群比同一“种”存在更多类似的基本特征。比如，“猫属”有很多不同的种类，既包括我们养的家猫（记作*Felis catus*）也包括野猫（记作*Felis silvestris*）。（那时学校普及拉丁文，为了便于理解，林奈使用了拉丁文。*Felis* 表示“猫”，*catus* 是“乖巧的”意思，*silvestris* 表示“丛林的”。）

林奈知道生物间有不同程度的相似性和差异性。他在这个庞大体系的最上层设置了三个“王国”：植物王国、动物王国和矿物王国。其后逐层降低，依次是“纲”，例如“脊柱动物”（驴、蜥蜴等长有脊柱的动物）；“目”，例如“哺乳动物”（给幼子喂奶的动物）；最后是“属”和“种”。在“种”之下，还有“变种”。在人类中，这种“变种”被称作“人种”。当然，还有个体——一个人、一株植物、一只动物都带有独

特性，比如高度、雌雄、发色或眼睛的颜色、声调。但是，你应该把这些特征放到群体中，而非进行个体分类。后来的科学家发现，在林奈最初的体系里增加额外的分支已迫在眉睫：比如“科”“亚科”“族”。狮子、老虎和家猫现在统统归入猫科。

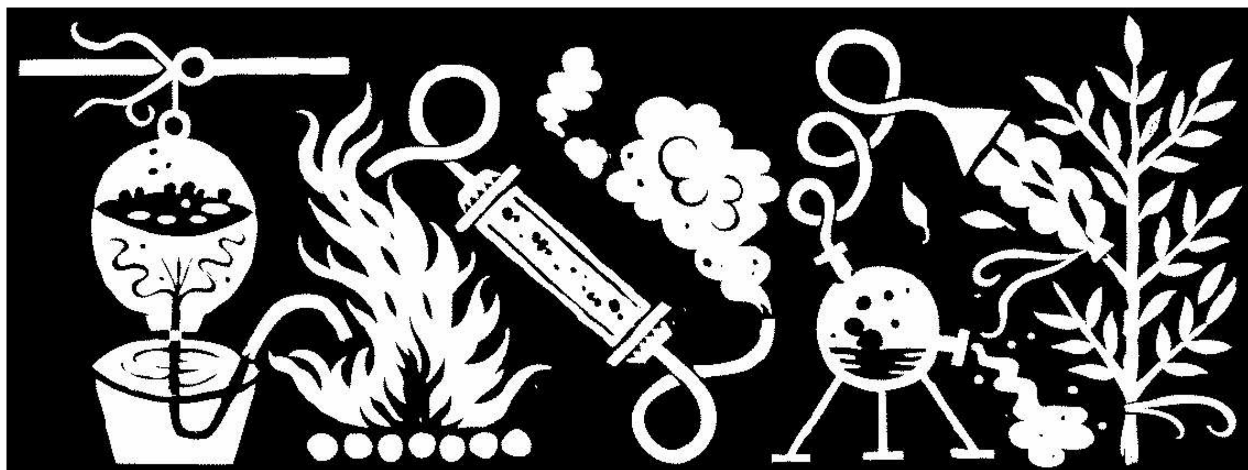
全部个体的植物和动物组成了这个生机盎然的世界，这正与布丰坚持个体是唯一确定的基础分类的观点不谋而合。

林奈最重要的研究也是他最高水平的研究是他关于物种的学说。他创制了以植物花朵的雄雌区分植物的简便方法。这样一来，植物爱好者就可以徜徉在森林与原野之中识别植物了。林奈的性别体系虽然只涉及植物，但还是惹恼了一些人，而且有人写了几首婉约的艳诗讽刺他。不容置疑的是，他的植物分类法行之有效，切实提升了植物学的地位。林奈去世后，一名英国富人收购了他珍贵的植物收藏，建立了伦敦林奈学会。林奈学会已有200多年的历史，至今仍然十分活跃。

我们还在大量使用林奈的动物和植物分类名。其中一个是包括人类在内的动物类别——灵长目动物。我们和猿、猴子、狐猴等其他与我们有诸多共同特征的动物共同属于这一类。林奈不相信某一物种可以进化成另一物种：他坚信上帝造物时严格区分了动植物的种类。不过，他意识到人类是自然的一部分，人类研究自然时所遵循的法则也同样适用于对人类自己的了解。对自然学家而言，准确理解我们所说的动植物种群一直是一件棘手的事。一个世纪后，一位迷恋植物的博物学家修改了林奈搭建的架构。这个人就是查尔斯·达尔文（Charles Darwin，1809—1882）。我们将在第25章讲述他的故事。

第20章

气和气体



“气”是一个非常古老的词。“气体”（gas）则要年轻得多，只有几百岁，从气到气体，其中的转变非同小可。在古希腊，气是四大基本物质之一，只是一种“东西”（thing）。但是17世纪时，罗伯特·玻意耳的实验动摇了这个说法，科学家们开始相信包围着我们、供我们呼吸的气不是由单一物质组成的。从那以后，许多化学实验更容易理解了。大量的实验中都出现过冒个泡儿或者像吹口气一样在空气中消失的东西。有时候似乎是实验改变了气的属性：化学家经常制造出氨气，熏得眼睛泪汪汪的；或者是硫化氢，有股臭鸡蛋的味道。但他们还不知道该如何收集这些气体，很难一探究竟。艾萨克·牛顿阐述过测量的意义，可是要衡量飘散在大气中的气体仍是一道难题。

所以，化学家们想方设法地收集纯净的气体。最普遍的方法是在一个小的密闭空间里，比如一个密封的瓶子里操作实验。这个封闭的空间由一根试管连在一个装满水的倒置容器上。如果气体没有溶入水里——

有些气体会溶入——它就会在上面汩汩冒泡，把水压下去。牧师斯蒂芬·海尔斯（Stephen Hales，1677—1761）极富创造力，他发明了一个非常实用的“水缸”收集气体。他是个长寿的人，一生大部分时间在特丁顿做牧师，剩下的时间待在乡下的一个小村庄，那里现在归属于伦敦。海尔斯谦和腼腆、好奇心强，是一个执着的实验者。他的某些实验让人望而生畏：为了测量马、羊和狗的血压，他直接把一根空管子插进它们的血管里，另一端与一根长长的玻璃管相连，简单地测出血液的升高值，也就是血压。用于测试马的血压的玻璃管子必须长达2.7米才能防止血液喷涌而出。

海尔斯观察植物里汁液的流动，也测量植物各部分的生长。他定期用墨水在植物的茎和叶上标记上小点，然后记录植物长高时前后小点间的距离。由此，海尔斯证明植物各部分长速不均。接下来，海尔斯利用他收集气体的器具测试植物在不同环境下的反应。他观察到它们在呼吸“空气”，也可以说是大气。［1727年，他出版的《植物静力学》（*Vegetable Staticks*）一书为后来光合作用的发现奠定了基础。植物吸收阳光作为能量的来源，把二氧化碳和水转化为糖和淀粉，“呼”出氧气，这就是光合作用。这是我们这个星球上最基本的进程之一。我们讲得有些超前了，那时还没有人知道氧气。］

还记得“pneuma”这个词吗？它在第6章出现过，和“气”有关。18世纪最重要的科研之一就是“气体化学”——研究气体的化学。（你注意到我说的是“气体”而不是“空气”了吗？）它源于18世纪30年代的气体化学，不仅意味着科学家放弃了有关“气”的旧学说，接受了它是多种气体组合的新思路，而且证明了在适当的条件下，多数物质以气体形式存在，或者可以被转化成气体。

斯蒂芬·海尔斯的“水缸”演示实验表明植物和动物一样需要气。这个“气”在那时代表的是物体燃烧时释放出的一种气体。苏格兰医生兼化学家约瑟夫·布莱克（Joseph Black，1728—1799）在容器中收集这种“气”（他称其为“混合气体”）后分别将动物和植物移至容器内，结果

植物存活，动物死亡，说明动物的生存还需要其他的东西。今天，布莱克的“混合气体”的名字是二氧化碳（CO2），我们知道它是动植物生命循环不可或缺的一部分。（它也是一种“温室气体”，是造成“温室效应”的关键因素，导致全球变暖。）

贵族亨利·卡文迪许[注]离群索居，把自己关在伦敦的私人实验室整天搞实验、做计算。他发现了更多的“混合气体”，并且收集了另外一种非常轻、在普通的空气遇到火花会爆炸的气体，将其命名为“易燃气体”——它就是氢气，燃烧后的产物完全是纯净的水。卡文迪许还研究了包括氮气在内的很多气体。

约瑟夫·普里斯特利（Joseph Priestley，1733—1804）声名显赫，他在气体化学研究方面取得的成绩无人能比。作为一名牧师，他曾经著书评论宗教、教育、政治和电的历史。他加入了一个新教组织——唯一神教派，相信基督是圣明的导师而不是“上帝之子”。普里斯特利是一名唯物主义者，主张运用理性的方法而非“神灵”和“灵魂”之道来解释自然现象。普里斯特利支持法国大革命，大革命早期，由于担心他的自由宗教观和社会观会把革命的浪潮引到英国，一群反对派烧毁了普里斯特利在伯明翰的房子。无奈之下，普里斯特利逃到美国，在那里度过了生命中最后的10年。

作为一个闲不住的化学家，普里斯特利用混合气体制作出了苏打水。以后你在喝气泡饮料的时候应该想想他。他还定义了几种新气体，而且像所有气体化学家一样，普里斯特利也想搞清楚物体燃烧的时候发生了什么。他知道气体参与燃烧，还知道有一种特殊的“气体”比我们周围“普通的”气体更有助于燃烧。他通过加热一种我们称作氧化汞的物质制造出这种特殊的“气体”，然后把它们保存在“水缸”里。他重复了前面提到过的混合气体实验，结果这次动物和植物在里面都活下来了。普里斯特利的新“气体”与众不同：事实上，它是很多化学反应的基本条件，比如呼吸和燃烧。他认为这些都要归功于在燃烧过程中释放出来的“燃素”，这是所有能够燃烧的东西的共有之物。如果周围的气体里缺少“燃

素”，火就会熄灭。

很多化学家借用这个理论分析燃烧现象，并且解释了有些“气体”在密闭容器里只能使物体燃烧一段时间的原因。科学家发现烧过的铅（燃烧后的剩余物质）比原来重，这说明铅在燃烧过程中释放出的“燃素”带有负质量——这能让含有它的物质比没有它的轻。

大多数物体燃烧时产生的气体很难被收集和称重。比如，一根木条燃烧完的灰烬明显比原来的木条轻；要计算燃烧后产物的总重量，挥发气体的重量必不可少。在普里斯特利的理论里，“燃素”相当于我们所说的氧气，但是它们的特性截然不同。普里斯特利认为，物体燃烧可以甩掉“燃素”减轻分量；而我们认为物体含有氧气，并且在燃烧后增重。蜡烛在密封的容器里会熄灭；老鼠和小鸟在没有空气的密闭环境里也坚持不了多久。普里斯特利对此的解释是气体随“燃素”减少了，我们的解释是氧气耗尽了。这提示我们虽然严谨的实验和缜密的计算是关键一步，但是对结果的分析却因人而异。

安托万-洛朗·拉瓦锡（Antoine-Laurent Lavoisier，1743—1794）被誉为“现代化学之父”，也是氧气的命名者。法国大革命时期，拉瓦锡被捕、被审，还被送上了断头台。但这并非由于他是化学家，而是因为他是收税官。在法国大革命前，富人可以买到收税官的职务，进而名正言顺地敛财。这是一个腐朽的体制，但没有证据表明拉瓦锡滥用职权。事实上，那时他大部分时间都在从事政府的重要科研工作，调研手工业和农业的诸多突出问题。但是，革命者痛恨他的贵族身份，拉瓦锡为此付出了代价。

拉瓦锡和普里斯特利、卡文迪许等气体化学家一样是实验先锋。而他的夫人和他志同道合，也非科学界的等闲之辈。玛利亚-安妮·皮埃雷特·保利茨（Marie-Anne Pierrette Paultze，1758—1836）自不到14岁嫁给拉瓦锡开始就陪他在实验室里做实验、查资料、记录数据。同时她是一名热情的主妇，两人时常邀请饱学之士一同交流最新的科技，是一对志同道合的美满夫妻。

拉瓦锡在学校的时候就热爱科学，从小就表现出了锐意进取的科学志向。当时，研究化学的学生大多是伴随着“燃素”的概念成长起来的，但是拉瓦锡揭示了燃素的很多逻辑和操作上的瑕疵。拉瓦锡决定制造最好的实验设备，于是和妻子联手开始革新改造。他用精密的天平称取实验物质的重量，用不同方式的实验确认物体燃烧后的重量，最终相信燃烧产物的总重量是增加的。他的实验包括收集燃烧时释放的气体并计算它的重量。

拉瓦锡一直坚持研究人类（和其他动物）的呼吸。大量实验结果充分证明主导燃烧和呼吸的不是燃素，而是同一种纯元素，而这种元素似乎也参与了酸的形成。化学家对这种酸碱化学反应（后来一度被称作“基本原则”）乐此不疲。还记得罗伯特·玻意耳发明的石蕊试纸吗？拉瓦锡在这条路上继续前行。他认为氧气（代表“酸的构成者”）是酸中不可或缺的元素，现在证实这是一个错误（强酸之一的盐酸含有氢和氯，不含氧）。不过，他有关氧气的很多论述经住了历史考验。现在大家都知道，燃烧和呼吸都需要氧气，这两个行为虽看似不同，实际上却有太多的相通之处。人类利用氧气“燃烧”或者转化摄入的糖和其他食物，以供给身体维持正常运转的能量。

18世纪80年代，拉瓦锡夫妇潜心于他们的化学实验。1789年，法国大革命爆发前夕，拉瓦锡最著名的书《化学概要》（*Elements of Chemistry*）面世。这是第一本现代化学教材，内容包括丰富的实验和设备，以及对化学元素性质的分析。现在“元素”的定义是化学实验不能将其分解的物质，而“化合物”是元素的合成体，通过正确的操作可以将其分解。所以，由氢和氧组成的水是化合物。这就是拉瓦锡这本重要著作的核心。他的元素表（或者叫作“单一物质表”）罗列了一些令人惊奇的物质，比如光和热，但远没有现在的元素表这么齐全，因为当时还有很多元素尚未发现。拉瓦锡在元素和化合物间画出了清晰的界线。

拉瓦锡对化学用语的严谨执着与他的科学信念一样珍贵。他和同事一起规范了化学语言，教导化学家描述缜密的科学必须字斟句酌（林奈

对此一定会举双手以示赞同），必须具备区分实验中化合物和元素的能力，只有这样，全世界的化学家才能有通用的关于研究的表达方法，从而把握真相。他写道：“我们只能依靠客观的语句思考。”拉瓦锡之后的科学家们逐步统一了专业术语。

---

1. 亨利·卡文迪许（Henry Cavendish，1731—1810），英国物理学家和化学家。他一生中做了大量的电学、化学研究，持续进行实验研究达50年之久。他的遗产被捐给剑桥大学，卡文迪许实验室即以他的名字命名。——编者注

第21章

物质碎片



“原子”曾经声名狼藉。你不会忘记古希腊人的说法——原子是宇宙的一部分，它行踪不定、没有目标吧？那么，在原子论广为人知的今天，我们为何对世界由原子构成这一说法深信不疑呢？

现代意义上的“原子”概念是值得尊敬的贵格会教徒约翰·道尔顿（John Dalton，1766—1844）提出的。道尔顿是织工的儿子，在出生地英国湖区附近的一所名校求学。他显现出了极高的数学和科学天赋，受到一位盲人数学家的鼓励而立志献身科学。当时的曼彻斯特处于早期工业革命的风口浪尖，城市飞速发展，工厂制造主导了各种产品的生产。道尔顿在曼彻斯特附近安家，担任讲师和家教。他有色盲症，却因祸得福成了最早公开讨论这一话题的人。因为他的缘故，有很多年色盲症被称作“道尔顿症”。如果你认识色盲症患者，那么他很可能是一个男孩，因为女孩子很少得这种病。

羞涩的道尔顿终身未娶，他觉得曼彻斯特文学和哲学学会就是自己

的家，活跃在那里的会员们就像是他的家人。18世纪后期有许多类似的协会，它们遍布欧洲和北美的城镇。电学家本杰明·富兰克林就是费城美国哲学学会的奠基人之一。“自然哲学”就是我们现在说的“科学”。曼彻斯特社团名字中的“文学”提醒我们，此时科学还没有和其他领域的智识活动分开；会员们聚集在一起听取各类主题报告，从莎士比亚戏剧到考古，再到化学。化学家对化学家，物理学家对物理学家的专题讨论时代还没来到。讨论如此广阔的话题是多么热闹和令人兴奋啊！

道尔顿是曼彻斯特科学界的指路明灯，他的成就逐渐获得遍布欧洲和北美的赞誉。虽然道尔顿在化学领域做过一些重要的实验性工作，但为他赢得声望的却是他的化学原子论。早期化学家已经证明，化学物质相互作用的结果是可以预见的。在普通的气体（含有氧气）里氢气“燃烧”时的产物通常是水，如果你仔细认真地测量一下，将会发现组成水的两种气体的比例总是一致的。（请不要在家里试，因为点燃氢气极易引发爆炸。）其他的气体、液体和固体参与的化学实验也常出现这种规律，这是什么原因呢？

一个世纪前，拉瓦锡认为这是因为物质的基本单位——元素——不能再被细分。道尔顿则把物质的最小单位叫作“原子”。他坚信一种元素带有一种原子，不同元素的原子迥然不同。他想象的原子微乎其微，是一个实心的小东西，被热能环抱着。原子外围的热能正好解释了为什么原子和不同原子连在一起组成的化合物会各具形态。比如，氢气和氧气的原子是以固态的冰的形式存在（温度最低的时候），或是以液态水的形式，再或者是以水蒸气的形式（温度最高的时候）。

道尔顿用剪纸模型展示了他的原子论。为了节省空间和时间，他在剪纸板上用符号记下化合物的名字和它们之间的相互作用（就像是在发短信一样）。一开始，这个体系脉络不清，很难被借鉴使用。但是，正确的思路是不会被埋没的，化学家们逐渐采纳了用首字母代表元素（也就是道尔顿的原子）的标记法。所以“H”代表氢气，“O”代表氧气，“C”代表碳。有时为了避免歧义，还要多加一个字母。比如，后来

发现的氦元素不能再用“H”来表示，因此写成“He”。

道尔顿原子理论的魅力在于，它令化学家们明白该如何去研究这些肉眼无法观测的小物质。如果一种元素的所有原子都一模一样，那么它们的质量也应该分毫不差，这样化学家就可以通过比较得出单个原子量。他们可以计算出不同原子组成的化合物里每个原子的相对质量。（道尔顿还没有准确地称出每一个原子的质量，所以原子量只能通过比较得出。）在科学研究的旅途上，道尔顿带队走到了这里，不过他也有迷路的时候。比如氧气和氢气生成水，他便推测水是由一个氢原子和一个氧原子合成的。基于认真的测量，道尔顿得出氢的原子量是1（氢是已知最轻的元素），氧的原子量是7，所以它们的比值是1比7，即1∶7。他习惯取整数位，而且他计算出的相对重量也表明他是正确的。事实上，水的重量比更接近1∶8。我们都知道水分子里有2个氢原子，所以原子量的比例准确而言是1∶16——1个氢对应16个氧。氧原子的原子质量是16。氢的原子量保留了道尔顿原定的1。氢原子不但是宇宙中最轻的原子，而且是最常见的。

道尔顿的原子理论通过展示元素或原子不同比例的组合建立了化学反应的概念。氢气和氧气在形成水的时候、碳和氧气生成二氧化碳的时候、氮气和氢气合成氨气的时候，都是在发生化学反应。这种规律性和稳定性加上日益精准的测量使化学在19世纪初期发展成为尖端科学，而道尔顿的原子理论则是它的基石。

汉弗莱·戴维（Humphry Davy，1778—1829）是这场化学革命中的焦点人物。与低调的道尔顿不同，他高调、善于交际。和道尔顿相同的是，他也来自劳动阶层，就读于康沃尔郡的一所名校。戴维也是幸运的——他曾拜一名住得不远的医生为师，希望受训成为一名家庭医生，但是他却用导师的书自学化学（以及外语）。后来，戴维搬到了布里斯托，在一所用不同气体治病的特殊医疗机构做助理。他在那里做了一氧化二氮的实验。这种气体也叫作“笑气”，因为它会让人情不自禁地发笑。戴维在1800年出版的书中写道，人在吸入这种气体后不会感觉到疼

痛，并且提到了它的药用价值，此书遂引起轰动。一氧化二氮成了“消遣性毒品”，消费它的俱乐部随处可见。但是，又过了40年医生们才采用戴维的建议。直到今天，现代医学和牙科偶尔还会用它作为麻药。

戴维只有在伦敦这样的大城市才能大展宏图。他抓住机遇，成为面向中产阶级普及科学知识的皇家科学院讲师。戴维在那里如鸟归林，尽情展示。他的化学讲座知识性与趣味性兼备，因此场场爆满，人们蜂拥而至。他很快便晋升为教授，研究收获颇丰。他和其他化学家一起发现了第一代电池——“伏打电堆”的化学用途。戴维把化合物制成溶液，然后分析电流通过电堆在里面传导的现象。他在很多溶液里观察到，元素和混合物不是附着在“堆”的正极上，就是附着在负极上。戴维用这种方法鉴定出了几种新元素。比如钠和钾，它们堆积在负极。钠是化合物氯化钠的成分之一，是海水尝起来咸的原因，也是我们烹饪时使用的调味品。每当发现新元素，戴维都会通过实验计算出它们的相对原子量。

化学家受到伏打电堆正负两极的启发，找到了研究原子和化合物的新思路。带正电荷的物质跑向负极，带负电荷的奔向正极，这解释了元素间相互结合的自然趋势。瑞典化学家永斯·雅各布·贝采利乌斯（Jöns Jacob Berzelius，1779—1848）综合这个事实，形成了他著名的化合理论。贝采利乌斯双亲早逝，童年生活艰苦，由亲戚轮流把他带大，但他最终成为欧洲最具影响力的化学家之一。在接受医生培训的时候，贝采利乌斯体会到了化学研究的无限乐趣，便在住处瑞典首都斯德哥尔摩找了一份与化学相关的工作。他经常四处游历，尤其是化学家的钟爱之地巴黎和伦敦。

贝采利乌斯和戴维一样利用伏打电堆观察溶液里的化合物，并且发现了几种新元素，进而公布了原子量更准确的新元素的名单。他通过对新合成物和分解物的周密分析与测量，计算出了它们的原子量。他在1818年的原子量表里列出了45种元素和2 000多种已知化合物的组合，氢的原子量仍然是1。贝采利乌斯推广了道尔顿用第一个或前两个字母命名元素的原则：碳“C”、钙“Ca”等。这种做法简化了化学反应的表达

方式。他还建议如果组成化合物的元素含有多个原子，就应该在字母后面加上数字。贝采利乌斯把数字标在字母上角，而现在的科学家把它移到了下角：O2表示有2个氧原子。除此之外，贝采利乌斯的化学分子式几乎和我们现在的如出一辙。

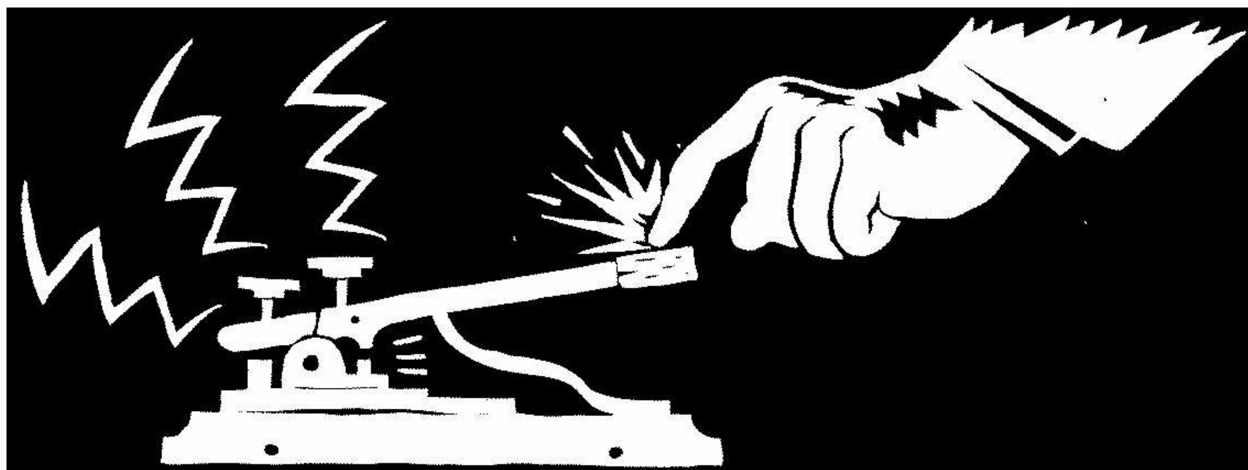
相对于有机化合物，贝采利乌斯对无机化合物更擅长。“有机”化合物指含碳的生命体，比如糖和蛋白质。有机化合物通常比无机化合物更复杂，它们的化学反应与贝采利乌斯大量实验中的酸、盐、矿物质大相径庭。他认为不能照搬实验室里得到的结论，以偏概全地解释人体内所发生的各种反应（或者解释其他生命体，比如大树和奶牛）。在贝采利乌斯的年代，法国和德国发展了有机化学。虽然他没有和法德两国的化学家走得很近，但的确为他们的研究做出了贡献。首先，他把有机化合物里的一种必需物定义为“蛋白质”。其次，他意识到很多化学反应要在有第三种物质出现的时候才能发生，并把这个第三者称作“催化剂”，它能参与反应——经常是加快反应速度——但它自身在反应中没有发生实质的改变，不随其他元素重组或分解。催化剂遍布自然界，破解它的功能从此成为很多化学家的理想。

在欧洲的其他地方，化学家举一反三地利用“原子”来推进他们的科研。尽管如此，还是有很多未解之谜困扰着化学界。1811年，意大利物理学家阿莫迪欧·阿伏伽德罗（Amedeo Avogadro，1776—1856）提出了“阿伏伽德罗假说”，宣称同体积的气体在相同的温度下分子数相同。这意味着用他发明的公式可以直接计算出气体的分子量。同行们认为这个说法太武断，对它漠视了将近40年。但是这一定律或者叫作“假说”意义深远，它修订了道尔顿的原子理论，解释了备受关注的气体之一——水蒸气的奇怪特性。化学家们假定水的分子式包含一个氢原子和一个氧原子，可是为什么我们无法在定量的水蒸气中测出与此对应的氢和氧的体积呢？化学家们对此困惑已久。现在真相大白，这是由于水蒸气里每两个氢原子对应一个氧原子。化学家们发现，包括氢气和氧气在内，自然界里有很多气体不是以原子状态存在，而是以分子形式存在——两个或更多个原子结合在一起，就像我们说的H2和O2那样。

如果你相信道尔顿的原子论和贝采利乌斯的原子有正负极之分的话，那么阿伏伽德罗的理论就显得说不通了。两个带有负电荷的氧原子怎么能挨在一起呢？这些问题注定了阿伏伽德罗的努力在很长一段时期内为人们所遗忘。很久以后很多化学家才幡然醒悟。阿伏伽德罗的研究成为阐释化学原子的基础。科学总是这样：当岁月终于拼凑起所有的碎片时，一切便都变得有意义了。

第22章

力、场和磁



道尔顿的原子论是现代化学的基石，但我们仍然有其他审视原子的角度。首先，它们除了组成化合物之外还有很多事可以做。溶液里的原子在有电流通过时聚集在正负两极，戴维和贝采利乌斯都曾聪明地利用了这一特征：原子也是“电”的一部分。为什么海水试剂里的钠原子总是会靠近负极，而氯会移向正极呢？

19世纪初是对这类问题进行大辩论的时代。迈克尔·法拉第是其中重要的一员。这位大名鼎鼎的科学家出生在一个普通家庭，只接受过基础教育。成年后，法拉第在做书本装订学徒时接触到科学，从此便如饥似渴地阅读身边所有可读之物。一本流行的儿童化学读物点燃了他对化学的遐想。有一天，一名顾客给了法拉第一张到皇家研究院听汉弗莱·戴维演讲的门票。演讲时，法拉第一边全神贯注地听，一边一字不漏地记笔记。讲座结束后，他满怀期待地把字迹整洁的笔记交给戴维，戴维对笔记的准确性感到震惊，但是他告诉法拉第，自己那里没有科研工作

的空缺，而对于一个需要养家糊口的人来说，装订书本是个不错的行当。

这之后不久，皇家研究院解雇了一个实验助理，戴维便把这个机会给了法拉第。法拉第把余生奉献给了皇家研究院，令它成为一个久负盛名的荣誉之地。法拉第刚到皇家研究院的时候负责替戴维解决化学问题。他在实验室里的表现出类拔萃，还一直坚持宽泛的科普阅读。作为一名虔诚的新教徒，法拉第为教会做了很多事，而宗教信仰也指引着他的科学探索。简单来说，法拉第认为是上帝把宇宙创造成现在这个样子，但是人类有能力揭开宇宙万物和谐共存的奥秘。

法拉第进入皇家研究院不久，便陪同戴维夫妇前往欧洲旅行。尽管戴维贵族身份的妻子一直视法拉第为仆人，18个月的旅程还是令他有幸结识了很多欧洲科学界的顶级人物。回到伦敦后，法拉第和戴维继续他们未完的实践研究：矿区爆炸的原因，如何提高船只的稳定性，以及玻璃的光学特征。戴维对权力的热衷给了法拉第独立发展的机会，法拉第转而研究自己关注的电和磁的关系。

1820年，丹麦物理学家克里斯蒂安·奥斯特（Christian Oersted，1777—1851）发现了电流的磁效应：控制电流可以产生磁场。磁力早已广为人知，金属指针总是指北的罗盘也一直为人所用。航海员开始使用罗盘远早于哥伦布发现美洲，自然哲学家深陷于为什么只有少数物质（比如金属）能够被磁化而多数不能的困惑之中。事实上，罗盘保持固定指向意味着地球本身就是一块巨大的磁石。

奥斯特的电磁学引发了新的科学浪潮，法拉第迎难而上。1821年9月，他为科学史上最耀眼的实验又添一笔。他用电线圈住一根小磁针，电流通过的时候磁针不停地旋转。电流经过电线圈的时候创造的磁场持续地吸引小针，迫使它一圈一圈地打转。法拉第领悟到它的非凡之处，称之为“力线”作用。他首次把电能（电流）转换成机械能（旋转磁针的运动或动力）。他为所有发电机提供了工作原理。洗衣机、CD播放器、吸尘器都是对电能转换的日常应用。

法拉第在接下来的30年中矢志不渝地研究电和磁。他是有史以来最有天赋的实验者之一，规划缜密、执行精细。法拉第没有学过数学，所以他的科学报告看起来更像是实验记录：极其详细的仪器记录、严谨的操作过程和具体的观察结果。他的研究加深了科学家对电荷在化学反应中所扮演的角色的理解。19世纪30年代初期，法拉第发明了发电机和变压器。他的发电机依靠一块永久性磁铁在金属圈里的进进出出产生电流。他的变压器则利用一股贯穿铁环单面线圈的电流，使另一面线圈产生短暂的电流。法拉第知道这些实验外表粗糙却内涵丰富。今天，电和磁的关系、电能转换成机械能简直在维持着我们的世界的运转。

法拉第始终保持着浓厚的科学兴趣，他经常出席科学活动，并且花费了大量心血主持皇家研究院。他开创了研究院圣诞演讲的先河，至今风靡四海——你可能在电视上见过那么热烈的场景。但是，他的挚爱还是电与磁。法拉第对电磁学的痴迷留给我们许多新的词汇和许多有用的新发明。他甚至拿自己的发明开玩笑。曾有政客问法拉第电的实用价值是什么，他似乎是这么回答的："噢，先生，你有100个理由可以马上向它征税！"

在大西洋彼岸，电和磁的狂热带来了另一个改变世界的事物：电报。通过电线传递信号始于19世纪初，但是第一份长途电报直到1844年才经美国人塞缪尔·莫尔斯（Samuel Morse，1791—1872）之手发出。他的信息从华盛顿国会大厦越过38英里传到了巴尔的摩（用的是以他的名字冠名的莫尔斯码）。电报通信在世界迅速发展：英国用它与鞭长莫及的帝国前哨联系，人与人之间的快捷沟通得以实现，新闻的快速报道也成为现实。

法拉第构思出"场"（field）的概念以阐释电和磁的神奇特性。以前的科学家曾尝试使用"field"（影响力的范围）的概念来解释神秘莫测的化学反应、电、磁、光和引力，因为他们认为这些现象都发生在特定的空间或者是领域里，这就好比每种竞赛有专门的场馆和赛场一样。但是，法拉第利用这个概念作为电和磁的核心释义，强调测量电、光和磁

的能量范围比担心它们到底是什么更有意义，而且实验可以展现出电场的大小。

法拉第认为引力在真空里无力可施。由此，他判断宇宙中充斥着一种超纯净物并称之为“以太”，所以不可能出现绝对的空无一物。物理学家和化学家把“以太”（和麻醉气体毫无关系[注]）当作很多事情的直接诱因。因此，法拉第的“磁场”和“电场”也可以被看作电流和磁力激活了构成“以太”的超纯净物的结果。顺着这个思路，引力也容易理解了，否则我们只能像古老的炼丹师那样，相信它是超自然的魔力，而法拉第这样的人是绝不会认同的。虽然我们既看不见“以太”，也感觉不到它的存在，但是物理学家却认为它可以解释实验的结果。在英国，这个学说一直流传到20世纪初“以太”被证明是子虚乌有的时候为止。

历史证明法拉第的很多力学成就潜能无限。后来的物理学家不但在此基础上继续研究，而且用更准确的数学语言描述了电、磁和在探索中遇到的其他物理现象。法拉第是最后一位不用数学进行研究的物理学巨匠。

真正继承法拉第遗产的人是新一代的数学物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦。麦克斯韦是可以比肩牛顿、爱因斯坦的科学家，也是名副其实的有史以来最具创造力的物理学家之一。麦克斯韦出生在爱丁堡并在那里受启蒙教育，后进入剑桥大学学习。1860年，他结束在苏格兰短暂的教学工作前往伦敦国王学院，在那里的几年间他硕果累累。此前，他已经绘制出了土星的光环，在伦敦的麦克斯韦又发展出色彩理论，并且拍摄了第一张彩色照片。他对电和磁一直兴趣盎然，最终把两者合二为一。麦克斯韦之后，物理学家开始用数学方式表达电磁学。麦克斯韦本人用数学和方程式描述了法拉第的“场”。他的方程式证明电磁场有波浪式的传播特性，这是物理学中非常重要的发现。这种波以光的速度蔓延，如今我们知道光和太阳的能量都属于电磁波。事实上，麦克斯韦成功地为我们预言了铺天盖地的“波”：收音机的无线电波、厨房里的微波、彩虹上下的紫外线和红外线，还有已经成为我们日常生活一部分的

X射线和伽马射线。当然，这些发现中的大部分都是后来才浮出水面的，所以可想而知，人们要过一段时间才能赞叹麦克斯韦的智慧。他的《电磁学通论》（*A Treatise on Electricity and Magnetism*，1873）是20世纪前继牛顿的《原理》之后首屈一指的物理学巨作。

麦克斯韦著书之前正在剑桥大学组建卡文迪许实验室，在随后的几十年间，大量重要的物理研究在那里完成。但就在刚刚完成了关于气体运动的主要研究后不久，麦克斯韦便英年早逝，去世时只有48岁。他用特殊的数学分析法描述了气体中以几乎相同的速度朝不同方向运动的无数原子是如何在不同的温度和压力下产生影响的。他还将罗伯特·玻意耳和罗伯特·胡克早年的结论数学化。此外，麦克斯韦还发展了“反馈机制”的基本概念：反馈是一种形成回路的过程，他称之为“调节器”，这与20世纪人工智能和计算机的发展技术息息相关。我们身体里也有反馈机制。比如，身体感觉特别热的时候就会出汗；而随着热汗蒸腾，身体凉爽下来。再比如，当我们冷的时候会打哆嗦，肌肉收缩产生的热量会温暖全身。我们凭借这些反馈机制维持恒定的体温。

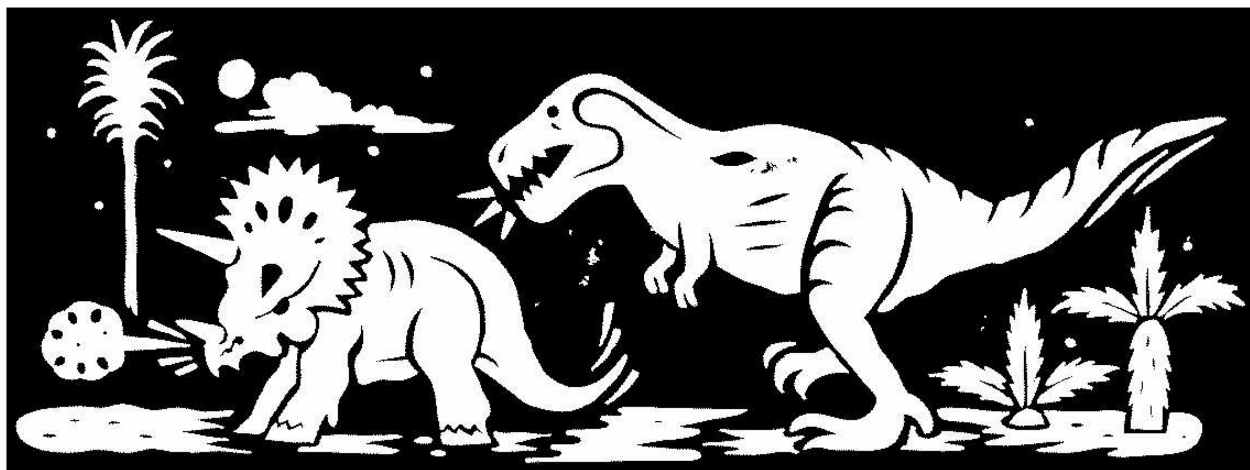
麦克斯韦的宗教信仰根深蒂固，而且风趣幽默，对妻子言听计从。在晚宴上，他的妻子常常会对他说：“詹姆斯，你还意犹未尽吧？但是我们该回家了。”好在她从来没有打扰麦克斯韦在实验室里的乐趣，这真是万幸。

---

1. 在英语中，表示以太和麻醉气体乙醚的是同一个词“ether”。——编者注

第23章

挖掘恐龙



小的时候，我分不清现实存在过的恐龙和幻想中的龙。从图片上看，它们很像：同样都是巨齿厚爪、披鳞戴甲，眼神邪恶，往往会主动发起攻击。不用说，对这两种生物我们最好都避而远之。

然而，恐龙和龙真的是天差地别。龙出现在希腊神话里、在英格兰亚瑟王的传说里、在中国春节的游行队伍里、在贯穿人类历史长河的戏剧里。尽管它们仍然魅力无限地出现在现代故事中，也不过是人类想象的结晶。龙从没有真正存在过。

恐龙就不一样了，它们真的存在过。它们在地球上生活了很久很久，大约20亿年前是它们的鼎盛时期。虽然未曾与人类谋面，但它们留下了骨化石供我们研究。19世纪初期，恐龙的骨骼得以重见天日，这是科学史上不可磨灭的一页。从地质学家开始，再到普通人，人们逐渐意识到地球的历史远比人类推测的要悠久得多。

1822年，法国人给化石研究起了一个名字叫作“古生物学”。“化石”是存活过的动植物的部分遗体在适当的条件下慢慢演变成的石头。人们在很多博物馆里都可以观赏化石，收藏化石也其乐无穷。不过，现在寻找化石有些难度，因为轻松易得的化石已经被大量收集、研究或者陈列展览。但是在某些地方，比如英国南海岸的小镇莱姆里杰斯，随着海浪侵蚀峭壁，时常有化石显露出来。

人类和化石打交道的历史已有数千年。最开始，“化石”这个词在英语中的意思就是“所有挖出来的东西”，所以化石可能是一堆古钱币，也可能是一件陶器或者是一块漂亮的石英岩。它们大部分埋藏在土里，看起来像贝壳、牙齿或者动物的骨骼，因此，化石逐渐地只代表那些类似生物的东西。海生物的贝壳偶尔会出现在远离大海的山顶上。通常，那些坚硬的骨头、牙齿和外壳看上去并不属于我们认识的动物。17世纪，当自然学家开始探究化石的真相的时候，他们提供了三种解释。第一种，一些人认为这些形状是自然界的特殊力量创造新物种的失败产物。第二种，有些人推断化石是我们未曾见过的动植物遗迹。地球还有广袤的未经涉足之地，在世界上渺无人烟的地方或是在海洋深处，一定能寻找到这些生物。第三种说法是一群学者提出的，他们宣称这些是存在过但又灭绝的生物。如果这是真的，那么地球要比人类想象的古老很多。

直到18世纪，人们才赋予“化石”这个词以现在的定义：存在过的植物或动物石化的部分。法国科学家乔治·居维叶（Georges Cuvier，1769—1832）引导化石研究走上科学之路，并让全世界接受了动物绝迹的事实。居维叶是解剖专家，尤其是对不同种类动物的骨骼的解剖与分析。他对鱼类情有独钟，对整个动物王国都十分熟悉。居维叶解剖过成百上千种动物，对比了它们身体的不同部位，并深入探究各个器官的功能。他认为动物就是运转的机器，每个部件各司其职。他同时意识到，动物的身体是整体协作的。例如，吃肉的动物长着犬齿（锋利的尖牙）为的是撕碎猎物，它们有良好的消化系统、健壮的肌肉和所有适合食肉为生的配套特征。但是，植食性动物，比如牛和羊的牙齿就是平的，这有利于研磨植物，它们的骨骼和肌肉适合闲逛，而不是奔跑跳跃。

居维叶相信动物完美的身体结构发挥了协调的身体功能。在他看来，我们完全可以通过局部获知动物完整的构造和生活模式。他说，既然发现一颗犬牙相当于找到一只肉食性动物，那么研究化石也是一样。居维叶和另一名解剖学家全面考察了在巴黎附近采集的化石后发现，化石总是和当时当地的某类动物有相似之处，只不过经常在牙齿和骨头上出现细微但显著的差别。机缘巧合，人们在西伯利亚发现了一头巨象的冻尸。居维叶检查了这只被叫作“毛象”的象后，宣布它和任何已知的大象都不一样，而且这种体型的动物倘若尚存于世，那么人们一定见过它的踪迹。因此，它一定是灭绝了。

自然学家利用一些动物（和植物）种类灭绝的理论化繁为简地解读了数目可观的化石。此时两个英国人偶然的发现，歪打正着地创造了史前世界的概念。其中一个是玛丽·安宁（Mary Anning，1799—1847）。她是一个穷木匠的女儿，住在英国南部遭受海浪侵蚀的小镇莱姆里杰斯，那里是玛丽寻找化石的绝佳地点。

玛丽在自己还是一个小姑娘的时候就开始搜集化石，把好的样品卖给科学家和收集者。她和哥哥约瑟用他们有限的知识开拓了化石的搜集和销售业务。1811年，他们找到一副奇怪的动物骨架，差不多有5米长，另外还有很多骨头，它们和已经发现的任何动物都不一样。

这个奇怪的动物长着可以在水里游泳的鱼鳍，所以被送到牛津展览，并很快有了“鱼龙”这个名字，意思是“鱼蜥蜴”。玛丽接二连三地找到其他神奇的化石，包括酷似巨型龟却没有外壳痕迹的“蛇颈龙”，寓意类似爬行动物。玛丽由此有了名气和收入，但是随着化石搜集的盛行，竞争越来越激烈，靠化石生意养家糊口越来越难。

玛丽·安宁学识浅薄，卖掉化石之后就不再过问。吉迪恩·曼特尔（Gideon Mantell，1790—1852）采取了另一种方式。他是一名家庭医生，生活在萨塞克斯郡的刘易斯。这里同样地处英国南部，附近的石灰石采矿场里有很多化石。身为医生，曼特尔拥有丰富的解剖学知识和分析化石的能力。但是，作为一个人口众多的家庭的顶梁柱，他必须协调

好忙碌的行医和化石研究的关系。他把自己的家变成了化石博物馆，这招来了妻子的不满。他还专程前往伦敦向科学家们展示他的藏品，但这往往也是吃力不讨好。

尽管困难重重，曼特尔仍一直坚持不懈，最终几件绝世的怪兽化石令他得到了回报。19世纪20年代，他发现了一些前所未见的牙齿，这些牙齿的主人是“禽龙”，意为“有鬣鳞蜥（一种热带蜥蜴）一样的牙齿”。一些仰慕者向他捐赠了他们找到的近乎完整的禽龙骨架。曼特尔还发现了身披铠甲的“海拉尔龙”，为巨兽曾经踏上陆地提供了证据。也有人挖掘出带有鸟类特征的化石。这个奇幻的世界里有各种生物，它们在海洋里、陆地上，也在天空中生存过。

我们在博物馆里欣赏这些重新组装起来的庞然大物时，往往难以想象那些使它们重见天日的人付出的艰辛。那时，化石通常是支离破碎、残缺不全的，可供参考的生物也屈指可数，编码标记的现代技术还很遥远，他们唯一能做的就是对比以前的发现来预测新猎物的尺寸。比如，一根大腿骨，应该是大象或者犀牛这种大型动物的，所以预计尺码是超大号。他们根据居维叶的理论，结合对动物饮食、活动方式、生活环境（水、陆、空）的预测重新拼凑零散的骨头。随着越来越多的恐龙重见天日，对早期地球生物的了解不断积累，研究者们与时俱进地完善着自己的观点。这些发现改变了我们对我们栖息的这个世界的看法。

“恐龙发掘者”让大众意识到地球历史悠久，比人类更早的物种是多么复杂。无限的遐想创造了流行杂志上千奇百怪的图片。查尔斯·狄更斯（Charles Dickens）一类的作者也会顺势提及这些巨大的爬行动物，因为他们相信读者们了解这些。“恐龙”一词最早出现在1842年，它的字面意思是“可怕的大蜥蜴”。不单是英国，放眼全世界，新的恐龙种类层出不穷，它们快速地成为地球生物史的一部分，科学家可以通过对发现恐龙所处岩层的时代来粗略计算它们生活在地球上的时间。

理查德·欧文（Richard Owen，1804—1892）是命名恐龙的人，对恐龙的研究拓展了他的科学生涯。他是大英博物馆的幕后功臣。那是一个

令人赞叹的博物馆，恐龙在里面始终有专属的空间。很多陈列品都是像玛丽·安宁一样的人找到的原始标本。

1851年，伦敦市中心举行了第一届世界博览会。这场被称作“伟大展览”的盛宴集合了全世界的科学、技术、艺术、运输和文化的展示。展场设在海德公园正中的大玻璃屋——辉煌的“水晶宫”内。它高33米，宽124米，长563米。当时，人们认为除了约瑟夫·帕克斯顿（Joseph Paxton）之外没有人可以用玻璃和钢架建成这么宏伟的房子。他既是园艺师也是建筑师，之前曾为维多利亚时代的贵族名流搭建大型温室。世博会盛况空前，持续了6个月，600万人从世界各地蜂拥而至。

世博会闭幕后，水晶宫被移至伦敦南部的悉登汉姆山。在扩建的部分开设了世界第一个主题乐园——恐龙和其他史前动物王国。禽龙、鱼类、斑龙和其他兽类的复制品巍然耸立在人造湖的周围。1853年的新年之夜，24名游客在制作禽龙躯体的硕大模具上共进晚餐，可想而知它有多大了吧。1936年，水晶宫在一场大火中轰然倒塌，它所在的地区至今仍被称作水晶宫。从现在的视角来看，有些经过重新搭建的恐龙复制品错误百出，但它们是劫后余生的幸存品，虽然千疮百孔，但毕竟见证了历史的伟大。

如今，我们对恐龙时代有了更多的了解。比起曼特尔和欧文，我们考证了形形色色的恐龙，推断出它们更加准确的生存年代。有时候我们说它们昙花一现（你将在下一章感受到地质年代的缓慢悠长），因为大约6　500万年前无数小行星撞击地球导致气候变化，大型恐龙因此灭绝。但并不是所有的恐龙都消失了，还有一些小型恐龙死里逃生、不断进化，它们的后代每天出现在你的花园里，你称之为“鸟”。

第24章

我们星球的历史



找到古老的兽骨只是历史故事的一页罢了。在乡村漫步时，你一定会注意到山谷间通常流淌着一条小河或是一弯溪水，四周围绕着矮山或峻岭。世界有很多让人叹为观止的地方，比如瑞士的阿尔卑斯山脉，既有高耸入云的群山，也有深不可测的峡谷。

地球的这些特征是怎么形成的？年复一年的地震、火山爆发、河流和冰川改变着地貌，山峰和深谷也不可能一成不变。也许每年的变化微乎其微，但是迟早你会看见。海岸线向后退去，海边小屋被卷入大海，经年累月地累积下去，必将是翻天覆地的转变。

人类对大地震、火山、海啸已经见怪不怪。意大利那不勒斯附近的维苏威火山在公元前79年的爆发埋葬了庞贝古城，夺走了无数人的生命，火山灰和岩浆彻底改变了海岸线。如今，挖掘出的庞贝古城已经扫去灰烬，你可以自在地逡巡其中。

很多人都在思索这些灾难事件的寓意，有些人觉得这是超自然的力量。学者们从17世纪末开始把地球归入自然史进行研究，他们在解决三大困扰的过程中逐渐发展出了现代地质学。第一个问题，他们需要开拓理解“历史”的新思路。

早期，“历史”就是“描述”的意思。自然史仅限于对地球和地球上事物的描述。随着时间的推移，“历史”有了现在的含义。今天的我们对事物的瞬息万变习以为常：服装、音乐、发型、俚语、电脑和手机；我们见过20世纪50年代的照片，觉得那时的人看起来实在另类。这不是什么新鲜事——罗马人和古希腊人着装就不一样——只不过，现在的变化节奏快了很多。我们自然而然地接受着。历史就是对这种变化的研究。

第二个问题与时间有关。亚里士多德推测地球是永恒的，当然地球在亚里士多德在世时的确趋于平静。古代中国和印度科学家认为地球是古老的，从基督教和伊斯兰教的角度看，地球的历史则是浓缩的。作家托马斯·布朗[注]在1642年说道：“我们理解的时间不过比人类早5天而已。”他说的是《创世记》里的故事，上帝在最初的5天里创造了地球、天空、恒星、太阳、月亮、所有的行星和动物，在第6天创造了亚当和夏娃。对于像布朗一样的基督徒而言，地球只比亚当和夏娃在伊甸园里看见的第一个黎明早诞生了一小会儿。

如果你认真读一下《圣经》，再加上《旧约全书》中提到的亚当和夏娃所有后代的年龄，大致可以推算出创世第一天的日期。17世纪中期，爱尔兰的大主教乌舍尔这样做了。计算结果告诉他，地球诞生于公元前4004年10月22日傍晚。这个结果太精确了！在17世纪50年代，很多基督徒拒绝接受他的结论。人们渴望知道地球的地貌特征是怎样形成的，如果地球的年龄小于6 000岁，就很难解释河谷演变的进程。

这个时间也无法解释在山顶发现贝壳的原因。它们是怎么做到高高在上，远离现在的海洋和大海的呢？归根结底，地质学家必须找出地球更古老的证据，才能对他们的观察做出合乎情理的推断。他们做到了。自然学家从17世纪末开始强调，世界“必须”比乌舍尔公布的年龄老上几

千年。数十年后，布丰（我们在第19章提到过的自然科学的先锋）结合宇宙学和地理学归纳出一套体系，在他的宇宙观里，地球的源头是一颗飞离太阳的炙热的球，然后它逐渐冷却，孕育了生命。布丰知道这有悖于教会的理论，为了不得罪教会，他用严谨的措辞试探性地把地球和太阳分离的时间估算在8万年前。

第三个问题涉及岩石和矿石的本质。没有两块一模一样的岩石。它们有的坚硬，有的松软易碎，组合成分千差万别，形成年代似乎也各不相同。地质学家必须通晓完整的地球史，才能对岩石和矿石进行命名和分析。亚伯拉罕·魏纳（Abraham Werner，1749—1817）在德国做了大量的铺垫工作。他在大学任职，却对采矿情有独钟。地下的矿藏为科学家提供了在地上难得一见的原始样本。魏纳把自己的样品依据岩石的成分和年代分门别类。他发现，最古老的石头坚固无比，在它里边没有任何化石的踪影。

不同种类的岩石是鉴定发掘地和周边地区年代的依据。一路向下一直挖到有化石的岩层和地层，同样可以找到化石和地层年龄的蛛丝马迹。勘测员威廉·史密斯（William Smith，1769—1839）证明化石对确定年代有重要意义。他在19世纪初期参与修建了英国的运河。在有铁道之前，水路是最便捷的运输方式，运送煤之类的重物更是如此。史密斯丈量陆地，对新运河的最佳路径做出了建议。在绘制英格兰和威尔士地形图的过程中，他逐步意识到，地壳层最显著的特征不仅在于它所含有的岩石种类，还包括藏身其间的化石。

地球时间尺度的延伸、对不同种类的岩石的了解以及史密斯对化石意义的洞察，为地质学家“解读”地球的历史创造了条件。19世纪早期，多数地质学家都是“灾变论者”。他们通过归纳整理修建矿山、运河和铁路时的记录，找到了很多证明浅表地层在火山和地震中沉陷于地底深处的证据。因此大部分自然学者认为，地球的历史可以按照“劫难”——席卷全球的灾难——划分出固定的时段。洪水就属于劫难，所以地质学家试图通过洪水找到和《圣经》的契合点。让他们欣慰的是，似乎有迹象

表明地球上曾经洪水泛滥，包括最近的那次（从地质学意义上来看）洪灾。根据《圣经》，在大洪水中，挪亚把动物两个两个地带上自己的方舟。

灾变论者提供了充分的证据支持他们的观点。从上到下不同地层的化石都带有显著的个性特征。较新地层的化石比较老地层的化石更接近现代的动植物。与此同时，乔治·居维叶（在上一章刚刚出现过）正在巴黎利用“对比解剖学”精心复原远古动物的图片。威廉·布克兰（William Buckland，1784—1856）是他的追随者，在牛津大学教授地质学。他是一位开明的英国牧师，精力旺盛地搜集地质资料，以证实《圣经》中提到的大洪水。布克兰找到很多自认为是大洪水遗留的直接证据：被冲进洞穴的残骸、岩石，甚至还有遍布田野的巨石。在19世纪20年代，他确信这些都是挪亚洪水的后果。直到19世纪40年代，地质研究的层层深入动摇了布克兰的自信。他领悟到英国也受到了冰川的影响，冰川缓慢前行的时候带来了大量的巨砾，才形成今天这种七零八落的布局，这种解释似乎更合情理。

19世纪二三十年代，多数地质学家认为新地质层恰到好处地解释了古代灾难论。由于这些地层内的化石只有细微差别，所以他们推断地球的历史应该是伴随着一系列灭顶之灾——铺天盖地的洪水、翻天覆地的地震——之后是适应新环境的新植物和新动物的诞生。地球的进程似乎就是为人类诞生这一辉煌的时刻做准备的发展史。这也与《创世记》相吻合，可以假设6天创世就是6个漫长的阶段，也可以假设《圣经》只是描述了创造人类的最后阶段。

1830年，一位从律师转行的地质学家，年轻的查尔斯·莱尔（Charles Lyell，1797—1875）对这一广泛流行的学说提出了挑战。他研究过法国和意大利的岩石和化石。他在牛津师从灾变论者威廉·布克兰学习地质学，但并不赞同老师的观点。莱尔问道，我们怎么证明地质作用对地球的影响总是一样的呢？于是，他成了“均变论”的领袖、“灾变论”的强敌。莱尔想知道他的均变说能够解释多少地质史。他觉察到

当下活跃的地质运动——火山、洪水、侵蚀、地震时有发生。如果这些变化一如从前，是否能够充分解释古代不同时期的大灾难呢？他的回答是肯定的，他把理由写进了三卷厚的《地质学原理》（*The Principles of Geology*，1830—1833）。在接下来的40年中，他继续修订，小心谨慎地在书中补充和更新自己和其他学者的研究。

莱尔的均变论大胆地摒弃了灾变论和对挪亚大洪水奇迹的盲信。他把地质学家从宗教的束缚中解救出来，使他们得以自由地破译地球的历史。莱尔有很深的宗教信仰，他坚信人类是独一无二的情感生物，在宇宙中占有特殊地位。他比大多数灾变论者更透彻地看出动植物不断地繁衍生息，无限地接近现代生物，这非常像进化论的观点。对比深浅不同地层的化石，灾变论者看到的是进化，而莱尔看到的却是全部发展变化中的冰山一角。在远离地面的古老地层里挖掘出的哺乳动物化石让莱尔激动不已，因为哺乳类动物通常出现在最近的地层，这些发现让他意识到，动物和植物没有真正的进化史，人类是唯一的特例。即便它们貌似在进化，那也只是意外。史前时代的生物中留下化石的可谓凤毛麟角。

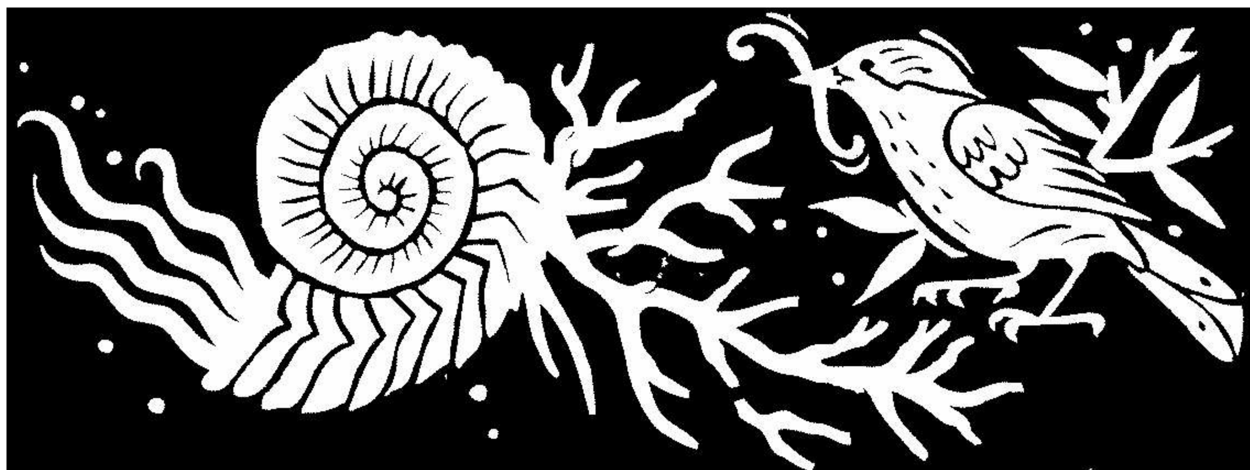
莱尔拥有杰出的分析能力和丰富的考古经验，是现代地质学的先驱。他证明，如果地球的历史足够长，那么只要观察当下，结合近代地质事件和地质力量就可以推断古代的地质发展进程。年轻的自然学家查尔斯·达尔文被莱尔的《地质学原理》深深地吸引了。他乘坐“小猎犬”号环游世界时便随身携带了这部书的第一卷（托运了另外两卷）。达尔文说，他在航行中借助莱尔的双眼看到了地理的世界——一个充满地震、岩石和化石的世界。不过最终，达尔文对化石中隐藏的真正含义给出了完全不同的结论。

---

1. 托马斯·布朗（Thomas Brown，1605—1682），17世纪英国医生、哲学家和联想主义心理学家。——编者注

第25章

地球上最伟大的表演



到郊外散步的话，你会置身于苍松翠柏之间，徜徉在花海之中，那里有哺乳动物，有飞禽，有昆虫，那里有世界与你分享的一部分。你还可以去动物园和植物园远远地欣赏异域风情的动植物，或者进自然博物馆寻找好几百万年前的化石，也许还能看到巨大的恐龙骨架。这些生命的存在和化石到底有什么关系？一个安静谦虚的人给了我们答案，他就是查尔斯·达尔文，是他改变了我们人类对自己的认识。

卡尔·林奈（见第19章）相信物种是稳定的，所以他给动植物命了名，我们至今仍在沿用他的原则。之所以能这样做，是因为我们知道动植物虽然在发生变化，但是这种变化缓慢至极。每一个生物的“物种”都有明确的含义。物种之中存在“变异”。子女和父母会有差异：也许个子高一点儿，或者发色深了些，也许鼻子大了一点儿。夏天团团围住烂水果的小果蝇也和它们的父母不一样，但是因为它们的个头太小，我们很难看出来有什么区别。最容易分辨的是垃圾堆里的小猫和小狗。达尔文

提出了父母和后代间的“变异”，无论我们能否看出来，它都意义非凡。虽然我们对“变异”有喜有恶，但大自然接受它并珍惜它。这是达尔文历经艰险、静心慎思的非凡见解。

达尔文的父亲和祖父都是名医。祖父伊拉斯谟斯·达尔文自有一套动植物进化的理论，而且擅写和科学有关的诗。查尔斯虽然在8岁时丧母，但仍然是个开朗的孩子。他热爱大自然，喜欢用自己的化学器材做实验，但在学校成绩平平。父亲送他到爱丁堡大学学医，他却对自然和生物更感兴趣。达尔文是一个敏感的人，熬过第一次手术观摩之后，他确信自己不适合当医生。

达尔文在爱丁堡大学的学习半途而废，他带着成为牧师的愿望前往剑桥大学学习，并勉强通过考试。剑桥是达尔文人生的转折点，在那里他结交了一些植物学和地质学的教授，他们鼓励他成为一名自然学家。约翰·亨斯洛（John Henslow）给他带来了在剑桥郊区采集的植物；亚当·塞奇威克（Adam Sedgwick）陪他到威尔士研究当地的岩石和化石。旅行结束后，达尔文就毕业了，这位毕业生无所事事，不知道何去何从。这时，他收到一封特殊的邀请，问他是否愿意作为“自然学家先生”随罗伯特·菲茨罗伊率领的皇家海军舰艇“小猎犬”号出国航行。父亲让达尔文拒绝，但是叔叔说服父亲接受了，这可是件天大的好事。“小猎犬”号的航行成就了查尔斯·达尔文。

从1831年12月到1836年10月，达尔文花了差不多5年的时间乘船巡游世界。他在海上的大部分时间都在晕船，当然他也有足够多的时间走上陆地，尤其是在南美。达尔文敏锐地观察一切自然现象，从风土人情、动植物到化石。他收集了成千上万的标本，每一件都有详细的标注。如果是现在，他肯定会写博客，但在那时达尔文只能等到回家后再出版那些了不起的随笔——《考察日记》（*Journal of Researches*，1839）一经出版就一抢而光，并且一直被奉为科学考察之旅的经典之作。这本书就是现在我们熟知的《“小猎犬”号航海记》（*The Voyage of the Beagle*）。

当时，达尔文的进化论还没有成形，但是他一直在心里反复琢磨动物和植物的变化。达尔文在《考察日记》里记录了三件尤其重要的事。第一件事发生在智利，达尔文在“小猎犬”号上平安地度过了一次大地震，当时海岸线突然升高了大约4.5米。达尔文对莱尔的《地质学原理》手不释卷，莱尔说过地震一类的恶性事件能够解释历史，达尔文对此印象深刻。这次地震使达尔文相信莱尔是正确的。

第二件事是现存物种和近代动植物化石的联系触动了达尔文。他在南美东海岸发现了硕大的活犰狳和与之类似的化石：它们只是“类似”，绝对不是同一物种。他把自己找到的很多样本补充进其他自然学者的发现中。

第三件事，也是最著名的一件，是达尔文在加拉帕戈斯群岛的收获。那是距南美西海岸几百英里之外的一群小岛。岛上遍布珍禽异兽、奇花异草，有硕大的海龟，有炫目的飞鸟，它们大多是小岛上独有的。达尔文游览了几个岛，小心翼翼地采集了一些标本。他遇到一位能分辨海龟老家的老人。达尔文回到英国后悟出，不同岛屿的海龟有独特的外形特征，他意识到这个发现绝不一般。一位鸟类专家看过达尔文从不同岛屿带回来的鸟类标本，证实它们是完全不同的种类。这似乎预示着，加拉帕戈斯群岛的每一个小岛都是一间微缩的变异实验室。

“小猎犬”号告别南美后穿过太平洋直奔澳大利亚，然后抵达非洲的最南端。它在返回英国的途中又一次在南美短暂逗留。1836年，回到英国的达尔文不再是那个出发时神经兮兮的小伙子了，他已经成为出类拔萃的自然学家。他寄回来的报告、信件和标本为他在科学界赢得了声望。

接下来的几年，达尔文潜心钻研旅行带回来的标本，写了三本书。他和表姐艾玛·韦奇伍德结婚，然后搬到了肯特郊外的唐恩新宅定居，达尔文一辈子最重要的研究都是在那里完成的。他总是病恹恹的，所以喜欢待在家里不出门。达尔文到底得了什么奇怪的病，我们一无所知，但是我们知道他们一共有9个孩子。他定期给书刊写些连载文章，包括

1859年出版的《物种起源》（*On the Origin of Species*），这是一部关于完整生物史的绝世佳作。

《物种起源》面世前几年，达尔文一直坚持记录“演变”日记。这个习惯开始于1837年“小猎犬”号归航不久。1838年，他阅读了托马斯·马尔萨斯（Thomas Malthus）的《人口原理》（*Essay on the Principle of Population*）。马尔萨斯是一位特别关注贫困原因的牧师。他认为穷人结婚过早，又不顾经济能力地生育太多孩子。然而，所有的动物都是这样不计后果地传宗接代的。猫一年可以生三窝小猫，每次至少6只；橡树每年传播成千上万颗种子，每颗种子都将是一棵参天大树；苍蝇一年能生出几百万只幼蝇。如果这些动植物的子孙后代全部存活，那么世界很快会被猫、橡树和苍蝇挤爆。

马尔萨斯认为，因为成长过程中有太多损耗，所以保证过剩的后代数量是必须的。自然是残酷的——必须挣扎求生。达尔文读过马尔萨斯的文章之后领悟到其中的奥秘——为什么有的新生命活下来了，有的却夭折了；为什么动植物的变化是日积月累逐渐完成的。幸存者一定有其他同类不及的优越性，它们就是达尔文所说的“适者生存”或者“自然选择”的结果。达尔文推断，所有的后代都继承了父母的某些特征，比如长跑的技能。凡是把优势发扬光大的就是最有可能生存的：要么跑得快一点儿，要么长出密集的小刺。这些特点就是“选择”，因为没有这些优点的少数个体活不到繁育后代的那一天。

达尔文意识到自然界的演变非常缓慢。但是他也强调，我们可以人为地对动植物的优势进行取舍，从而加快变化进程，他称此为“人工选择”。事实上千万年来，人类一直精于此道。达尔文喂养信鸽，而且经常和鸽迷通信。他知道喂养者对鸽子特征的精挑细选会导致鸽子的身形和行为迅速改变。长久以来，农场主挑选种牛、种羊和种猪，渴望高产的农民和喜爱美丽花朵的花匠也不例外。你知道牧羊犬和斗牛犬有多大差别吧。如果饲养者对动物特征有意选择，那么培育出各种各样的动物易如反掌。

达尔文知道，大自然的动作比人类迟缓太多，但是若是有足够的时间和适当的环境，完全可以重现同样的进程。他通过对大龟群岛的鸟和龟的研究勾勒出自然选择的进程。当地的自然环境——土壤、捕食者、食物供给——各岛不尽相同，所以当地的植物和动物以变化应对不同的生存环境。岛上的鸟类五花八门：吃种子的、吃水果的，或是吃龟背上寄生的虱子的，它们都根据自己觅食特征“选择”了不同的喙。达尔文知道在某些情况下，当差异悬殊足够大的时候会产生不同的种类，但是所有的鸟类仍是近亲。时间和与世隔离的环境为突变创造条件，便演化出新的物种。

达尔文还在沉默，他如饥似渴地读书并收集观察报告。1838年，他写出自己理论的大纲，1842年完成了这部长篇大作。但他还是不动声色，为什么呢？为了确保万无一失。他知道如果自己言之无据，这个生物界的颠覆性观点必将招致其他科学家的严厉批判。1844年，爱丁堡出版商兼自然学爱好者罗伯特·钱伯斯匿名出版了自己谈论物种进化的书——《自然创造史的遗迹》（*Vestiges of the Natural History of Creation*），这本书引来无数关注。“演变”成为当时的热门话题。钱伯斯列举了很多证据表明活着的物种是先前物种的后代。但他没有明确的理论分析，只是含糊其词，而且有不少错误。书的销量很好，但是内容受到了一些权威科学家的抨击，只有达尔文期待钱伯斯可以自圆其说。所以，达尔文静观其变。他出版了一些关于“小猎犬”号的重要作品，解决了一个独特但安全的研究课题：藤壶。分解这些小海洋生物并进行研究是一件棘手的工作，达尔文坚称自己从中受到了有益的启示，他看到了一群既有数量庞大的活体又有化石存在的动物种类，它们为适应生活做出了各不相同的改变。

对藤壶的研究告一段落之后，达尔文终于回归他的著作。1858年，正当他专心撰写一本题为《自然选择》的鸿篇巨制时，邮递员带来一封让他大惊失色的信件。这封信来自遥远的亚洲，征求他对一篇短文的意见。这篇文章言简意赅地写道：是长期的自然选择导致了物种的变化。达尔文仰天长叹，文章作者阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士（Alfred Russel

Wallace）得出的结论竟然和他多年历尽千辛万苦总结出来的大同小异。

了解达尔文观点的朋友查尔斯·莱尔和约瑟夫·胡克（Joseph Hooker）出手相助。他们在伦敦林奈学会安排了华莱士和达尔文观点的联合展示，但是听众都心不在焉。当时达尔文在家养病，华莱士远在8 000英里之外更是对此一无所知。华莱士的信促使达尔文下决心放弃手头上的长篇大论，马上动笔撰写自己的观点。《物种起源》终于在1859年12月24日出版，首发当日1 250册全部售罄。

《物种起源》的核心部分包括两个主要理论。第一，自然选择是“适者生存”，就是那些帮助个体存活和繁育的优势。（人工选择是人类随心所欲地强行改变动植物的特征，显示出动植物的可塑性。）第二，自然选择在自然界经过漫漫征途“创造新物种”，新物种不慌不忙地以此“进化”。书的其余部分是这些理论与自然界完美融合的精彩实例。达尔文论述了活着的物种和它们化石祖先之间的近亲关系。他描写了遍布世界的动物和植物对地质的贡献，解释了偏僻的地理位置（例如加拉帕戈斯群岛）是如何为新物种的发展提供条件的。他还强调，有些不同动物的胚胎惊人地相似。达尔文的《物种起源》在生物学界的地位如同牛顿的《原理》在物理学界的地位。是他让人们知道自然界有数不胜数的物种。

遗传是达尔文最大的困惑：为什么后代可以很像他们的父母，但同时又和父母以及同辈间总有不同呢？他手不释卷、冥思苦想。他承认对遗传缺乏了解，所以只给出了一些参考意见。他知道，当时的关键是承认遗传，而不是讨论遗传是怎样发生的。

《物种起源》引发了百家争鸣。人们对它口谈笔议，有良言也有热讽。达尔文笔耕不辍，在去世前出版了6版。他在抨击和研究中日渐成熟，完善自己的理论。他在不断更新《物种起源》的同时还出于兴趣编写了其他书籍，它们内容丰富、数量惊人，包括幽雅的兰花为适应昆虫授粉发生的变化，捕食昆虫的植物，爬墙的植物以及难看的蚯蚓。达尔

文无愧于大家对他的形容——“有着无限好奇心的人”，没有什么能逃脱他的关注。

虽然达尔文知道《物种起源》的理论同样适用于我们自己的生物史，但他对人类的进化只字未提。该书第一版的读者可以清晰地感觉到达尔文确信人种进化论，但直到10多年后他才在《人类的起源》（*The Descent of Man*，1871）一书中公开表述这个观点。

达尔文确立了生物进化的科学价值。虽然有些科学家对此持反对观点，但是多数人对他的理论心悦诚服，只不过有时候他们对生物进化发生的方式和原因持有自己的看法。后来的科学研究对达尔文著作的细节做了诸多更正，它不是完美无缺的，也不可能完美——这才是科学。达尔文的研究扭转了我们对地球生物的看法。地球上最伟大的表演就是它的进化史。

第26章

一堆装有生命的“积木”



有些东西我们的确看不到，也听不到。我们无法看见所有的星星，看不见原子，也看不见雨滴中装着的小东西。我们听不见很多鸟和老鼠能听到的声音。但是，我们通过提问和使用工具，可以看见和听到比直接用眼睛和耳朵得到的更多的信息，而且我们还可以了解它们。望远镜使我们看到更远的空间，显微镜则帮助我们看透搭建生命的微小“积木”。

早在17世纪，微生物学先锋安东尼·范·列文虎克就用自己的小显微镜对准了红细胞和苍蝇腿上的毛。一个世纪以后，自然学家利用更加先进的显微镜研读细节和多姿多彩的微生物。复合显微镜比单镜片显微镜的成像更大。它带有两个镜头，后一个在前一个的基础上再放大，以翻倍扩大图像。很多思维缜密的人对显微镜半信半疑。初级的复合显微镜造成过稀奇古怪的错觉和假象，比如无中生有的怪颜色或乱线条。况且，当时只有几种简单粗鲁的切割观察物的方法，而且还要把碎片固定

在载玻片（一片薄薄的玻璃）上进行观察。可想而知，很多科学家认为使用显微镜得不偿失。

然而，医生和生物学家追求精益求精，他们要详细地了解身体的工作方式。法国的沙威尔·比夏（Xavier Bichat，1771—1802）研究了组成人体的另一种物质——我们将其称作“组织”，它或许像骨骼一样坚硬，抑或像脂肪一样松软，还有可能是像血一样的液体。比夏发现，同类组织无论在身体的哪个部位都有类似的功能。由此可知，无论是控制腿脚还是控制手臂的肌肉组织，它们的结构都相同；遍布身体各处的肌腱（连接肌肉和骨头的部分）和组织液（就像包裹心脏的东西）也大同小异。钻研细胞和组织的学科叫作“组织学”，比夏被誉为“组织学之父”。但他也对显微镜持怀疑态度，因此他使用的只是简单的放大镜。

比夏的工作激发了人们尝试通过更小、更基础的生命“积木”来研究动植物的兴趣。19世纪的前几十年里，关于动植物基本生命组织的内容众说纷纭。19世纪20年代末，法国和英国陆续攻克了复合显微镜的技术难题。从那以后，低头使用显微镜的人更加自信，因为他们看到的画面精准清晰、实实在在。

到了19世纪30年代，德国的两位科学家通过新的显微镜得知，生命最关键的组织是细胞，动植物毫无例外地都由细胞组成。他们一位是植物学家施莱登（Schleiden），另一位是医生泰奥多尔·施旺（Theodor Schwann，1810—1882），他阐述了细胞的工作和产生。动植物体内的细胞运动产生活动、消耗、呼吸和感知等行为。细胞共同协调工作，它们是了解动植物生存和功能的关键。

当你伤到自己的时候，比如割破手指时，会长出新的皮肤组织使伤口愈合。但是，如果生命组织是由细胞构成的，那么新的细胞是怎么生成的呢？施旺是一个化学迷，他推测，新细胞在一种特殊的液体中成形，就像在实验室特定的溶液里培养晶体一样。施旺尝试分析胚胎在卵子或者子宫内的发育过程，还希望找出破损或者脓肿的地方再生细胞的出处。作为一名医生，他注意到伤口周围会发红，有时还充斥着脓细

胞。他认为这些脓细胞就是在可见的脓液中形成的。这个想法史无前例地结合了化学和生物学，但是很快被证明太过简单。

随着对显微镜的改进，越来越多的科学家开始关注细胞内的世界。鲁道夫·菲尔绍（Rudolf Virchow，1821—1902）是最权威的细胞观测者之一。他的兴趣包罗万象，在公共卫生、政治、人类学和考古学等多个领域都很活跃，主要身份是病理学家。（他曾参与挖掘公元前800年左右荷马描写过的特洛伊城。）19世纪50年代，菲尔绍开始思考细胞学对药物和疾病研究——病理学的意义。他和施旺都把细胞当作生命的基本单位。掌握细胞在健康和生病时的作用，将会在科学的基础上开创新医学。他在非常重要的《细胞病理学》（*Cellular Pathology*，1858）一书中陈述了自己的观点。他表示，无论在病人身上还是在验尸房（需要研究患者尸体时）里检查出的疾病都是细胞的创作。这包括癌症的发展（他对癌症格外关心）、带有脓肿的炎症和心脏病。在病理学课堂上，菲尔绍常常教育学生要“以显微镜的方式思考”，要精确到细胞的层面。

菲尔绍在出色的显微镜观测基础上，得出了一句生物学领域的至理名言：“每一个细胞都来自另一个细胞。”这也正是他超越施旺的地方。菲尔绍想要说明割伤或者抓伤等引发的炎症——囊肿里的脓细胞——实际上来自其他细胞，而不是在体液中形成的，这意味着癌症也是其他细胞异常活跃和分裂的结果。我们在显微镜下看到的每一个细胞都是现存细胞（母细胞）一分为二的产物（子细胞）。事实上，勤奋的生物学家有时候能观察到完整的分裂过程，他们注意到原始细胞分裂后，细胞内物质似乎有所改变。一些奇怪的事情发生了。

早期的观察结果显示，细胞不是一个装满同样东西的口袋。在19世纪30年代，英国植物学家罗伯特·布朗（Robert Brown，1773—1858）利用显微镜对比了众多细胞，发现每个细胞中心都有一个细胞核，它的颜色比周围的物质深。很快，细胞核作为细胞的一部分被研究者接受。细胞内其他物质被定义为“原生质”，其字面含义是“原始的模板”，因为那时原生质被看作细胞内的生命物质，有了它才有了成活的动物和植物。

与此同时，细胞核周围的各部分结构也被探明并分别有了自己的名字。

科学家很快接受了细胞核和细胞的其他部分的存在。不过，这与古老的“自然发生说”背道而驰，腐肉和死水似乎滋生了各种各样微小的生命。众所周知，在桌子上放一块肉，暴露几天之后会生蛆。如果我们不知道苍蝇产的卵会孵化成蛆，要怎么解释蛆来自何处呢？在显微镜下检查一滴池水，能看见里面活跃着很多微生物。可它们是怎么进去的？

对于19世纪的科学家来说，最早的解释是某种化学反应提供了营养环境，让这些微生物出现在里面，或者说被创造出来。这是当时的普遍观点，似乎也言之有理。既然鲜肉中没有蛆，那么查明它们的出现过程是不是比臆断鲜肉分解后自动生出这些令人作呕的东西感觉上更易于接受呢？少数人认为复杂的东西——大象或是橡树——是自然发生的，但是简单的生命形态似乎说来就来，并没有直接的原因，除了那些以某种方式借助周围事物而生的。施旺提出的细胞是特殊体液结晶的概念也属于“自然发生说”，即活细胞来自没有生命的物质。

17至18世纪的自然学家自认为他们已经证明自然发生说是无稽之谈，但是疑云依旧不散。19世纪50年代后期，两位法国科学家开始唇枪舌剑。获胜者最终在科学界否定了自然发生说。不过，这场竞赛可没那么简单：赢的人（虽然观点正确）没有采取公平竞争的手段。

争论的一方是化学家路易斯·巴斯德（Louis Pasteur，1822—1895）。19世纪50年代，他意识到活细胞能够做出惊天动地的大事。他一直研究各类化合物的化学性质，熟悉发酵——葡萄和酵母混合制出酒，或面粉加入酵母烘焙出圆鼓鼓的面包的过程。巴斯德之前，人们认为发酵是特殊的化学反应，酵母起到催化剂的作用，加快反应速度但不参与反应。而他却提出了相反的论点，证明发酵是由以葡萄和面粉中的糖分为食的活酵母引起的生物进程。酵母中的细胞分裂出更多的细胞，这些活跃的细胞会酿制出符合预期酒精含量的酒，或者使面包松软。当然，在发酵的过程中必须严格控制温度。如果让酵母一直活下去，酒会变成醋，面团也会瘪下去。巴斯德知道发酵的进程以后，开始思考其他

活的微生物对化学反应的贡献——比如“自然发生”。所以，他公开挑战支持“自然发生说”的同胞菲利斯·波谢（Felix Pouchet，1800—1872）。

巴斯德做了一系列实验。他把谷物加水煮开、除菌，然后把混合物暴露在尘埃悬浮的空气中。按照常理，过几天那些液体里应该挤满微生物。巴斯德声称，如果隔离空气中的灰尘，几天后溶液仍然可以保持无菌状态。为了证明这些微生物不是在空气中自生而是随尘埃而来的，他设计了一个特殊的弯颈烧瓶，形状就像天鹅颈一样，这样空气可以随意进出，尘土被拒之在外。波谢也做了类似的实验，几天后，他的烧瓶里还是长出了微生物。这个结果证明“自然发生说”名副其实。巴斯德推测他没有达到预期的实验效果，是因为烧瓶不够干净——并且，他认定波谢就是一个邋遢人。巴斯德还是获胜了，尽管他不动声色地隐瞒了那些失败的、结果偏向波谢的实验。巴斯德的成功部分取决于他的果断自信，坚持自己是正确的；还有一部分要归功于菲尔绍的名言“每一个细胞都来自另一个细胞”的保驾护航。人们愿意相信巴斯德，因为他的理论是一场弃旧迎新的飞跃，吐故纳新在科学领域至关重要。

显微镜的应用积极地推进了医学和生物学的研究。人们改进了显微镜，也发展了制作镜下观察样品的工具，包括尤其重要的染色剂——一种类似染料的特殊化学物，它能够给细胞组织着色、突出其结构特点，使它们方便辨认。染色后的细胞核清晰地呈现出一系列深色的条带，它们被称作“染色体”（来源于希腊的“颜色”一词），随细胞的分裂增长。这些发现的重要性和细胞的其他部分直到20世纪才被科学家确认，但是19世纪的医生和生物学家是承前启后的一代。他们证明，要想了解植物和动物的完整机能，包括健康的和病态的，必须从组成它们的细胞入手。有一种只有一个细胞的有机体叫作“细菌”，它对诊断疾病起到无可替代的作用。路易斯·巴斯德没有给我们答案，但是他建立了微生物和疾病之间的联系，加深了我们对日常生活中普遍存在的微生物角色的理解，可谓功不可没。

第27章

咳嗽、打喷嚏和疾病



如果你流鼻涕、咳嗽或者感到恶心，通常是“感染”了炎症或病毒，也就是说某种微生物让你生了病。我们对“感染”司空见惯，所以很难想象当年微生物致病的提法是多么语出惊人。若干个世纪前，医生认为病痛的根源是人体内体液的变化。即使在更近一点儿的年代，医生也把疾病归咎于不好的体质（我们称作“不好的基因”）、过度饮食或者不良的生活习惯，比如熬夜。从来没人想过活的有机体能从身体外招惹疾病。这是一个标新立异的看法，很多专家开始重新思考疾病的真正含义。

早期的医生确实谈论过疾病的“种子”问题。“病毒”经常被提及，只不过那时的意思是“毒药”。不管是误食身亡还是被害而死，人们对毒药见怪不怪。这个理论的“新”在于接受致病的外因是微小的、有生命的生物——微生物。说起来就像一场战争：身体对这种微生物有“防御工事”可以“抗击”感染。微生物理论是医学史的伟大转折。

我们在上一章见识了最具威望的赢家路易斯·巴斯德。后来，巴斯德的兴趣逐渐转向微生物，忙着研究微生物的日用价值：它们对酿制啤酒、发酵葡萄酒和烤面包的影响。他发明了针对牛奶和其他日用品的“巴氏消毒法”。打开冰箱，你能在冰箱中的食品包装上找到巴斯德的名字。“巴氏消毒牛奶”是经过标准热度杀死微生物的牛奶，它保质期更长、食用起来也更安全。

证明细菌、酵母菌、真菌和其他微生物能够导致人类和动物生病，也是一次飞跃。在显微镜下看见它们是一回事，证实它们和特定疾病的单一关系是另一回事。我们现在所说的传染病，一直以来都是致命的杀手。从14世纪40年代开始，腺鼠疫（俗称“黑死病”）在英国全境肆虐300多年。它会引发高烧和疼痛难忍的全身肿块，这些肿块被称为腹股沟淋巴结炎。它通过黑鼠身上的跳蚤传播，如果老鼠在疫情中死去，它们就会转移到人身上。天花、斑疹伤寒和猩红热同样伴有皮疹和高热不退的情况。一对夫妻也许生育了8个甚至更多的孩子，但是这些孩子可能大部分都在幼年死于这些疾病。

医生经过分析做出了两种解释。一部分人认为这种全社会性的疾病是“传染病”，通过接触可以人传人，比如健康人若是接触了病人或者病人的衣物，就有可能被传染。人患上后会出可怕的疹子的天花，似乎就属于传染病，健康人照顾患病亲友之后总是难逃一劫。

接触性传染不太适用于解释其他疾病的扩散。有一种“瘴气传播”理论在医生中间颇为流行。瘴气指污秽、不健康的气味或蒸汽。医生认为，瘴气病的病因在于空气中弥漫着恶浊之物，比如变质的剩饭菜和下水道的臭味，以及病房内的浊气。整个19世纪，霍乱是最让人闻风丧胆的热带疾病。它曾经在印度流行，用了6年时间从印度传到英国，并于19世纪20年代开始扩散到世界各地。霍乱患者会腹泻严重、呕吐、脱水，在极度恐慌中落魄地死去——这一切往往只要一天。这突如其来的痛苦令英国陷入恐慌。

现在，疾病会随跨国旅行快速传播，而在那时传播速度要慢得多。

欧洲的医生和各国政府目睹天花一步步地席卷亚洲和东欧，他们不知道这是通过人传人（接触感染）还是瘴气泛滥成灾所致。很多人担心，疾病正在大家共同呼吸的空气里蔓延。

不同的致病原因必然需要不同的应对措施。如果相信接触是病因，那么最好的方法是对患者隔离观察；如果认同瘴气是根源，那么消毒和提高空气质量势在必行。1831年下半年，突袭英国的霍乱点燃了如火如荼的辩论。面对恐慌，医生的观点是隔离，但这种做法似乎效果平平。当1848年和1854年瘟疫再次来临的时候，伦敦医生约翰·斯诺（John Snow，1813—1858）明智地查明了真相。他经过和当地居民交谈，详细标记出邻区的每个病例，最终确定霍乱的传播源是伦敦中心苏活区的公共水泵。斯诺断定是霍乱患者的排泄物污染了水源，所以对水源进行了取样并放在显微镜下验证。虽然斯诺没能明确定义原因，但是他的工作强调了纯净水源对公共健康的意义。

斯诺的调研虽然没有找到霍乱的病因，但是发现了它的传播方式。这表明了实验室的重要性，尤其是路易斯·巴斯德的实验室。就在巴斯德专注于自己的微生物研究的时候，法国政府要求他去调查一种破坏了本国丝绸工业的蚕病变。巴斯德尽职尽责地举家搬到法国南部的制丝产业区，在妻子和孩子的协助下证明这种蚕病变是微生物感染了蚕的幼虫所致。随后，巴斯德提供解决方案，挽救了法国的丝绸工业。

以此为契机，巴斯德开始研究疾病。他希望证明微生物是很多动物和人类疾病的罪魁祸首。他从源自家畜、偶尔殃及人类的炭疽病入手。直到最近，这种疾病差不多被彻底遗忘的时候，恐怖主义者还在用它作为武器。一旦感染此病，患者会感觉到皮肤疼痛难忍，如果病毒进入血液则会导致死亡。它的诱因是一种大型细菌，所以相对容易发现。炭疽病成为巴斯德利用疫苗成功防治的第一种人类疾病。

早在1796年，英国乡村医生爱德华·詹纳（Edward Jenner，1749—1823）在给一个出牛痘的男孩注射后找到了预防天花的方法。牛痘类似水痘，但没有水痘那么严重，它本来是牛会患上的一种病，偶尔会传染

给挤奶女工，不过观察显示这些带病的姑娘似乎和更危险的天花绝缘。于是，詹纳创造出新疗法，命名为“种牛痘”（取自拉丁文“牛”）并在多国推广应用。疫苗接种有效地降低了这种重大疾病的发生率。

再说说巴斯德，他想效仿前辈的方法对付炭疽，但是找不到和它直接相关的疾病。不过，他发现改变环境——比如改变温度、更换培养基、将其暴露在空气中——都可以削弱炭疽细菌的威力。细菌滋生和我们的生存都需要合适的环境。巴斯德如愿以偿地把炭疽细菌弱化到不足以致病的程度，为了纪念詹纳，他把这种弱化的细菌称作“疫苗”。他邀请记者见证了他的实验：他给一圈又一圈的羊群和牛群接种，结果发现，没有注射疫苗的动物因感染死去，而接种疫苗的动物则都安然无恙。实验大获成功。巴斯德让世界领略了医学的力量。

炭疽过后，来了狂犬病。狂犬病是一种要命的疾病，它的起因通常是被带菌的动物咬伤。患者——包括很多小孩子——会口吐白沫甚至无法饮水。值得一提的是，巴斯德根本看不见他要打交道的狂犬病，因为狂犬病毒太小了，巴斯德和他的同代人都没办法在显微镜下捕捉到它。但是，通过分析患者的症状，巴斯德明白狂犬病毒是一种侵入大脑和脊髓再进入神经系统中枢的病毒。于是，巴斯德用兔子的脊髓进行人工“培养”，他通过改变培养环境控制感染程度。终于，他利用弱化的病毒研制出一支疫苗，首次人体注射非常成功，巴斯德名震世界。故事的主人公是一个叫约瑟·迈斯特尔的小男孩，他被一只患有狂犬病的狗咬伤，绝望的父母抱他来找巴斯德救命。巴斯德是化学家，所以请了一名医生代为注射。疫苗成功了，小迈斯特尔获救，从此感恩戴德地终生跟随巴斯德。于是，其他被狗咬伤的患者蜂拥而至，寻求接受新的神奇治疗。世界为之雀跃，人们纷纷捐款修建巴斯德研究所，巴斯德在那里一直工作到生命尽头。至今已有100多个年头过去了，他的研究所依然在蓬勃发展。

巴斯德是一个与众不同的人，不但成就卓尔不群，就连他的成长之路和研究微生物的方式也独一无二。其他科学家甚至觉得他的方法让人

手忙脚乱、力不从心，所以现在实验室里研究细菌的常用器具大部分是他的德国对手罗伯特·科赫（Robert Koch，1843—1910）的作品。和巴斯德不一样，科赫是一名地道的医生，他的研究伴随着治病的实践而进行。他也观察过显而易见的炭疽菌，发现了它从动物到人类的传播方式，并且证明这是一个复杂的生命循环。有时，炭疽菌会进入类似冬眠的“孢子期”。这些孢子很难被杀死且可以感染人类和动物，它们有多种制造疾病的方式。虽然细菌只有一个细胞，却是相当难对付的有机体。

科赫率先使用摄影手段给致病的细菌成像。他在一种固体状的琼脂上培养细菌，以便独立研究和辨别不同的“株”（细菌的不同种群）。这可比巴斯德的烧瓶和汤料省事多了。科赫的助手佩特里（Petri）发明了盛放琼脂、培养细菌的小盘子。科赫也很喜欢使用染色剂区分细菌。这些进步改变了细菌学，国际医生和科学家组织开始对微生物刮目相看。

科赫是一位“微生物猎手”，他辨明了导致19世纪两种最严重疾病的微生物。1882年，科赫宣布发现结核分枝杆菌。肺结核是19世纪最大的杀手，医生们认为它要么是遗传病，要么是不良生活方式的恶果。科赫的研究证明，肺结核其实是传染病，患者是传染源。肺结核有别于流感、麻疹、斑疹伤寒和霍乱等其他流行性疾病，它是一种慢性病——传播慢、感染慢、死亡慢，通常对肺的损害会延续很多年。

科赫的第二大发现是霍乱病菌，这是又一个人类闻之色变的疾病。霍乱于1883年出现在埃及时，法国和德国曾派遣科学考察队前往探明原因。这像是一场竞赛。一位法国队员被感染而死去。（巴斯德也动过前往埃及的念头。）科赫及其德国同行对自己的发现模棱两可，所以科赫去了霍乱盛行的印度。找到霍乱杆菌后，他证明斯诺是正确的——它确实存在于水中。他在患者的排泄物和他们打水的水井里都检测出了霍乱杆菌。对传染病的了解帮助人们更好地控制疾病的蔓延，而疫苗在过去的一个世纪里更是挽救了不计其数的生命。

从19世纪70年代末开始，大量致病的微生物逐渐被准确地识别出来（不过，后来证实很多微生物是没有危险性的）。那是一段激动人心的

岁月，许多医生感觉医药学和卫生学的新气象迎面而来。从那时起，水、牛奶和我们日常生活中的卫生问题被提上议题，医生建议我们饭前便后洗手，咳嗽的时候捂住嘴。对细菌的辨别是研制疫苗和药物的前提，也是现代外科的基础。

早在19世纪60年代，英国外科医生约瑟夫·李斯特（Joseph Lister，1827—1912）就深受巴斯德微生物学说的鼓舞，因而推广了自己的“灭菌”手术。你的家用急救箱里应该备有消毒药膏。李斯特创新地使用清洁下水道的石炭酸来清洗手术器械和敷在伤口上的绑带，还发明了一种设备，可以在手术过程中对准患者和医生的手喷洒石炭酸。他对比手术效果后发现，使用这种消毒方法使术后存活率大大提高，他经手的病人没有一个死于手术中的血液感染。巴斯德在反驳“自然发生说”的实验中证明“细菌”被尘埃颗粒带着穿行在空气中，李斯特则用石炭酸杀死了这些细菌。

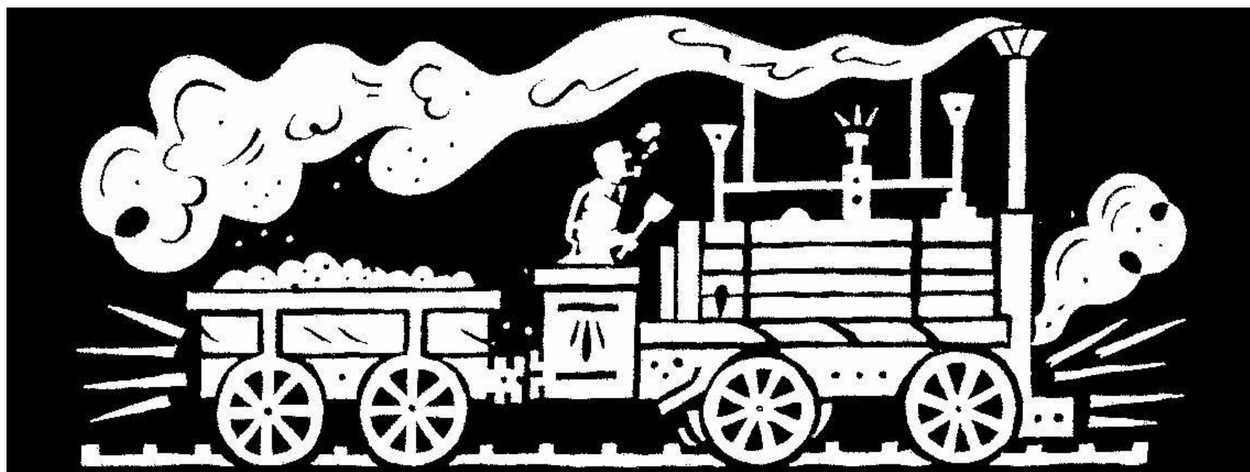
就像改进巴斯德实验室的器具一样，罗伯特·科赫也完善了李斯特的灭菌手术。李斯特致力于消灭伤口上所有的致病细菌，而科赫的灭菌手术则从根源上杜绝了细菌进入伤口。科赫发明了高压灭菌锅，一种利用高温蒸汽给手术器材消毒的仪器。灭菌手术开创了医生安全进入患者体腔（胸腔、腹腔和大脑）的先河，后来逐渐衍生出现代的手术室、手术袍、口罩、橡胶手套和无菌设备。

即使有现代的卫生学，手术也不可能离开麻醉。美国医学在19世纪40年代开始采用麻醉术。麻醉是化学服务医学的典范，这些化学合成物催人入睡——乙醚和三氯甲烷都是实验室里的化学作品（汉弗莱·戴维的一氧化二氮是另一种早期的麻醉剂）。在这之前，病人在手术和分娩时如果不经历撕心裂肺的疼痛甚至死里逃生，大概都算是奇迹了。攻克霍乱难题的约翰·斯诺是第一批使用麻醉术的英国人之一。他在接生维多利亚女王的最后两个孩子时使用了麻醉术，作为麻醉师一举成名。已经生了7个孩子的女王第一次使用麻醉剂，就觉得它的确是一个好东西。

对细菌的认识令手术进一步发展，也开阔了医生研究长期带给人类无尽痛苦和死亡的传染病的思路。爱德华·詹纳疫苗抗病的理论已经有了科学依据。虽然疫苗有些副作用，但仍值得接种，毕竟它带给了人们征服传染病的希望。如今，我们对微生物的了解比巴斯德和科赫多很多，也更清醒地意识到这些细菌、病毒和寄生物是多么善变和狡猾，这一点稍后在第36章你也会有所领教。它们有适应药物和治疗手段并产生抵抗力的本领，这是达尔文进化论给我们上的第一课——适者生存。

第28章

发动机和能量



“先生，我在这儿卖的东西是全世界人人都想要得到的——它就是能量！”工程师马修·博尔顿（Matthew Boulton，1728—1809）知道自己在说什么。18世纪70年代，博尔顿和几个有志青年，包括发明家詹姆斯·瓦特（James Watt，1736—1819）让蒸汽机跑进了矿场和制造业。他们好像控制了能量之源，或者说是能源。这些人引领了英国工业革命，使英国成为第一个工业化的国家，建立了工厂制。这是一场由科学的先进性驱动的革命，这是一场建立在巨大的能源提升的基础上，迅速提高工业产量、出口量的革命。难以想象我们现在的生活如果没有能源，会是什么样子——毕竟我们说的是无处不在的能源啊。这一切都要从蒸汽说起。

蒸汽机本身相当简单。它的原理体现在每次你盖着壶盖烧水的时候，蒸汽的力量顶起壶盖跑出来，还发出咕嘟咕嘟的响声。现在请你设想一下用密闭的气缸代替水壶，然后在一端开个小洞，塞进一个可以移

动的活塞（一个圆盘，能严丝合缝地卡在气缸里，它的凸起正好插进小洞里）。蒸汽出逃所造成的气压可以顶起活塞或者任何附着在上面的东西：没准儿它就是连接火车轮子的车轴。蒸汽机就这样把蒸汽的力量转换成了动能，即机械能。它可以做很多有益的事，比如带动一台机器，或者抽出矿井里的积水。

蒸汽机的发明者既不是博尔顿也不是瓦特，它早在他们之前100多年前就出现了，只不过那时的蒸汽机简陋低效，一点儿也不可靠。蒸汽机改进的幕后军师是瓦特。他的新样机不但提供了能量，而且促成了英国的工业化，同时引领科学家走上钻研基本的自然法则之路。科学家认识到热能并不是拉瓦锡所认为的物质，它其实是一种能源。

工业革命期间，年轻的工程师萨迪·卡诺（Sadi Carnot，1796—1832）在众多有识之士中脱颖而出。那时，法国是英国最强的劲敌。卡诺意识到了英国在设计和利用蒸汽机能量上的优势，他希望法国能够迎头赶上。在观察蒸汽机的运转之后，卡特总结出一套实用的科学原理。他关心的是蒸汽机的“效率”。

一台效率极高的蒸汽机应该调动全部能量加热水缸里的水，从而带动发动机运转。你可以统计燃烧的煤和木头产生蒸汽的热量值，然后再测量活塞运动所积蓄的能量。如果发动机完全没有能量损耗，两个值应该完全一样。可惜，这样的发动机永远不可能出现。

所有的机器都有一个热机或者“水槽”——回收冷却后的蒸汽和水的地方。在每一次循环时测量蒸汽（或者水）进出时的温度，结果显示总是进时高，出时低。卡诺证明可以利用两个温度的差计算发动机的效率。假设理想效率为1，那么实际效率就是1-机内（出去时的）温度/ 热源（进来时的）温度。唯一能够达到理想值“1”的条件就是发动机吸收了蒸汽的全部热能，这样进出的温度比为“0”，即1 - 0 = 1。如果事实如此，温度测量结果中有一个应该是0或者无穷大：要么是无穷大的热气进入，要么是“绝对零度”（理论上的最低温度，我们将在后面解释）的热气逃离热机。由于两个假设都不可能实现，所以实际效率总是低于理

想值。

卡诺简单的方程式不但测量了发动机的效率，而且揭露了一个重大的自然法则。它解释了为什么永动机只能偶尔在科幻小说中大显身手，却永远不能在现实里一展风采。我们只能利用能源产生能量——比如，我们要想给水加热，必须从烧煤或点燃其他燃料开始。19世纪四五十年代，很多科学家都在研究这个基本的自然原理。鲁道夫·克劳修斯（Rudolph Clausius，1822—1888）就是其中一员。他是德国的物理学家，在严格控制的实验环境里，孜孜不倦地观察热能运动，并且提出了一个新的物理概念："熵"。它是测量一个系统中的混乱（失序）程度的指标。制造混乱比打扫战场容易多了。如果你把白漆和黑漆混在一起，你得到的是灰漆。混合很简单，但是想把它们再分成纯白和纯黑就不大可能了。如果你把牛奶和糖加进茶水里，倒是可以把糖还原，不过要费九牛二虎之力才行，而且牛奶肯定无法还原了。能源也不例外，一旦你把煤点着了，就不能再利用它产生的热能变回那块煤了。

"熵"的概念让19世纪的人心灰意冷。克劳修斯宣布因为"熵"的"散漫"，世界将会越来越乱。万物混杂的状态需要更大的能量去恢复，就好比收拾房间比弄乱它更耗费精力一样。根据克劳修斯的理论，宇宙在跌跌撞撞地走向衰竭，最终的结局是一切物质和能量均匀地分布在宇宙各处。甚至，我们的太阳也将在距今50亿年左右的未来带着地球上的生命一起走向灭亡。当然，动物、植物、人类、我们的房屋和电脑都不会坐以待毙的，正如一句老话所说："未雨绸缪"。

物理学家和工程师一边对"熵"的影响忧心忡忡，一边对能量的本质穷追不舍。热能很重要，所以研究能量的学科叫作"热力学"（其英文单词取自古希腊的"热"和"能量"两个词）。19世纪40年代，一些人就不同能量形式之间的关系得出了相似的结论。他们观察了各种事物：水在结冰和沸腾的时候发生了什么？人类的肌肉如何举起重物？蒸汽机如何利用热的水蒸气做功？（1825年，第一条蒸汽火车线路在英国北部开通。）他们从多个角度综合这些问题得出了统一的结论：能量既不能凭

空创造也不能被肆意消灭。人类唯一能做的是进行能量转换。能源节约的原则就是对能量转换的利用。

曼彻斯特的物理学家J·P·焦耳（J·P·Joule，1818—1889）希望找出热能和做功的关系。完成特定的工作量需要多少能量？他用一系列巧妙的实验证明，热能和做功之间有明确的数学关系。你做功的时候（比如骑车）会消耗能量，而热能是最常见的能量形式。现在假设我们在爬山，肌肉每运动一次，能量就减少一点儿。这些能量是我们吃进的食物在消化中利用呼吸进的氧气“燃烧”掉卡路里产生的。眼前有两条路通往山顶：一条陡峭，一条平缓。焦耳表示，无论你选择哪一条路都消耗能量。虽然陡峭的山路可能会让你肌肉酸痛，但不管你踏上哪一条路，也不管你是跑还是走，从山脚到达山顶消耗的能量总是一样多的。物理学家对焦耳的名字可谓牢记在心。“焦耳”是身兼数职的计量单位——既是能量单位，也是热量单位。

长期以来，人类千方百计地测量物体含有的热量，也就是它们的温度。伽利略（请见第12章）设计了能体现温度升高的“测温器”。人们通过测温器看出物体的冷热变化；用温度计上的数字标记热度。早期区分温度等级的两种方法沿用至今。一个是德国物理学家丹尼尔·加布里尔·华兰海特（Daniel Gabriel Fahrenheit，1686—1736）发明的含有水银和酒精的温度计。在以他名字命名的温标里，水的冰点是华氏32度（0摄氏度），我们的正常体温是华氏98.6度（37摄氏度）。安德斯·摄尔西斯（Anders Celsius，1701—1744）以他名字命名的温标里，以0摄氏度为冰点，100摄氏度为沸点设置范围，所有温度值总在两数之间。这两种计量方法和我们的生活息息相关，当你想知道烤面包的温度，或者要找一个借口抱怨天气时，请记得上面二位。

苏格兰物理学家威廉·汤姆森（William Thomson，1824—1907）发明了另一种计量方法。他对热能和自然界其他形式的能量格外痴迷。汤姆森是格拉斯哥大学的教授，后来受勋成为“开尔文男爵”。他的温标是我们知道的“开尔文”或“K”。他用精确的测量和严谨的科学计算创造出

以“K”为符号的温度单位，摄尔西斯和华兰海特的温度计量相形见绌。

“K”以“水的三相点”的温度为基础，也就是当水的三种状态——冰（固态）、水（液态）和水蒸气（气态）——处于“热平衡”时的温度。在实验室里，将某种物质绝缘、隔热，当温度和压力保持稳定时，该物质将出现“热平衡”状态。这时，物体形态不会改变，能量既不会减少也不会增加。水的三相点是指水的固、液、气态处于绝对均衡的状况。一旦温度或压力变化就会打破平衡。

在摄氏和华氏温标里，非常冷的时候温度会变成负数。在天气预报里你会听到“零下2摄氏度或零下3摄氏度”。但是在K氏温标里没有负数。水的冰点是273.16 K（相当于摄尔西斯的0摄氏度和华兰海特的32度）。如果要降到0 K，那可要冷上不少呢。这个“0”是真正的0，是“绝对零度”。在这样一个不可能存在的极寒温度下，所有的行动、所有的能量都将停止。就像效率为100%的发动机一样，我们永远不可能造得出来。

开尔文等人向世人展示了所有发动机的科学性和实用性。伴随19世纪的发展，本章的这三项发现成为热力学第一、第二和第三定律：能量守恒、熵的“法则”以及绝对零度下原子的绝对静止。这些定律有助于我们理解能源、做功和能量的重要意义。

新能源的产量无法满足现代世界的需求——办工厂、开轮船、跑火车，还有开尔文晚年时出现的汽车。火车和蒸汽轮船利用锅炉中煤燃烧时释放的热能制造蒸汽，驱动发动机运转。但是，汽车依靠的是一种新发动机：内燃机。它需要一种在19世纪末才发现的高挥发性燃料——汽油。此时的人们还不知道，汽油将成为下个世纪最重要的产品之一。如今，在新千年，石油依然是世界竞争的稀有资源之一。

第29章

为元素贴标签



我们混合各种调料烧烤，是在利用化学反应；我们清除水垢，水壶滋滋冒泡也是化学反应；我们携带的塑料水瓶、穿着的五彩服装，都是拜几百年来人类所积淀的化学知识所赐。

化学在19世纪才登上大雅之堂。让我们简单回顾一下：19世纪之初，化学家围绕在道尔顿原创的原子理论周围，还记得吗？相关的故事请翻到第21章。接着他们一鼓作气创造了全世界通用的化学语言，建立了元素标记体系，比如H2表示2个氢原子。随后，原子是最小的物质单位这一点得到了广泛认同。化学家用“单质”代表只有一种原子的物质（比如碳），用“化合物”代表由两种或两种以上元素组成的物质。你可以把化合物分解成元素（比如氨可以分解成氮和氢），但是无法进一步分解元素。

原子的确不是道尔顿形容的那种坚硬的小球，但是想要说清楚它们到底是什么实在太难了。不过，化学家们慢慢地发现了很多邻近原子或

原子在化合物之间的“交易”。有些元素惰性十足，不管你做什么都不能调动它；有些则一触即发，你必须做好爆炸防护；有些还需要你帮忙“启动”一下才能与其他元素互动。比如，把氧气和氢气装在一个烧瓶里什么也不会发生。不过，如果你扔进去一个小火星，那么快闪开吧！因为你正在制造一场快速的爆炸。不过这场反应的产物却是最普通不过的水。还有一个极端的案例：把镁和碳一起密封在真空烧瓶里，不停地加热，它们仍会相安无事；现在，放一点点空气进去，回敬你的将会是耀眼的白光和可怕的热浪。

化学家注意到了这些千差万别的化学反应，开始对反应的原理和在实验室里破译出的化学组合着迷。他们设计了两种主要的实验方法：“综合法”和“分析法”。综合法是把元素集中，从单质或简单化合物入手，研究它们的反应产物。分析法则是相反的程序，从相对复杂的化合物开始，设法分解它们，通过观察终极产物了解最初的化合物。化学家采用这些方法洞悉了很多简单的化合物的组成，这为攻克更复杂的化合物提供了捷径，只要在熟悉的物质里添加新料就够了。

在所有的实验中，有两个结果一目了然。首先是我们公认的，每个元素都有正价或负价，而且俗话说“异性相吸”。例如，正价钠很容易和负价的氯结合生成氯化钠（我们撒在食物上的盐）。正负抵消，所以盐是中性的。所有稳定的化合物（如果没有外界干扰，自身就不会改变的物质）都是中性的，虽然组成它们的元素并不一定都是中性的。钠和氯的混合实验是“综合法”的实例。你也可以对刚才制成的盐进行化学分析。把盐放在水里溶解，然后把盐水倒进一个有正负极的电场里，你会看到两极分化的现象：钠移向负极，氯移向正极。化学家经过成百上千次的重复实验，终于确信这些元素的原子带有正负电荷。这些特征是定义元素间相互反应的前提条件。

第二，有些成群结队的原子在反应过程中牢不可分，这样的组合叫作“原子团”。它们作为一个整体统一行动，也有正、负价之分。原子团在有机化学中格外重要。当时，化学家刚开始了解这一领域，它包含一

整个家族的化合物（它们都含有碳元素），比如乙醚、酒精或苯（它有着迷人的环形结构）。很多化学家渴望将有机物分类、了解它们的成分并掌握它们的反应——尤其是它们的工业价值日趋明显的时候。随着人们对肥料、染料、医药、颜料的需求日益增长，尤其是19世纪50年代石油开采兴起后，工业化学制品的生产场所逐渐从小小的实验室搬到了大工厂。现代化学工业拉开了序幕，化学不再是兴趣和富人的消遣，它成了一项事业。

单质同样有自己独特的化学和物理属性。化学家通过不断实验发现了一些特定规律。有些单质的原子似乎喜欢单个和其他原子结合，比如氢、钠、氯。你看，一个氢原子和一个氯原子生成强酸——氯化氢（HCl）。有些单质的原子又好像有双倍的魅力，能够吸引其他的原子或原子团参与反应，比如氧、钡和镁，一个氧原子可以争取两个氢原子合成水。还有一些顽固不化、无论如何也不“趋炎附势”的特例。在化学反应中，单质（包括原子团）的表现欲各不相同。磷是一个活跃分子，必须时刻警惕；硅却总是懒洋洋的，不会构成什么威胁。

单质的物理属性也相差甚远。正常温度下，氢、氧、氮和氯都是气体；汞和钠是液体；大多数单质则天生是固体，比如铅、铜、镍和金等金属。还有很多其他的单质，特别是人类研究最多的碳和硫，通常呈现固体状态。大部分固体很容易在熔炉里熔化，有时甚至会气化（变成气体）。液态汞和钠就极易挥发（很可能存在危险）。19世纪，化学家还不具备把温度降低到使氧和氮等气体变成液体的能力，更不用说固体了。不过，他们知道这只是技术问题。从理论上分析，每一个单质都有三种可供选择的存在状态：固态、液态和气态。

19世纪50年代，人类进入了化学时代，那是一段充满辩论的激情岁月，有关原子的相对重量、有关分子（原子群）的结合方式、有机物和无机物的区别等。1860年的国际会议是建立现代化学体系的催化剂。如今，我们对跨国会议习以为常，但在那时它可并不寻常：在没有电话、没有电子邮件、不提倡旅行的年代，科学家之间除了信件交流，几乎没

有机会见面。听远道而来的同行现场讲述自己的研究、公开讨论是稀有的大事。19世纪50年代开创了国际会议的先河。世界各地的科学家可以坐着火车和蒸汽船跋山涉水地当面讨论了。他们同时向世界宣告了在科学界广为流传的信条：科学本身是客观的，它没有国界，而且远离分裂人类、挑起国际战乱的宗教和政治。

1860年，化学家们齐聚德国卡尔斯鲁厄，参加为期三天的国际会议。很多年轻有为的化学家从欧洲各地蜂拥而至，包括三位在之后40年叱咤风云的人物。德国人奥古斯特·凯库勒（August Kekulé，1829—1896）确定了会议目标，他希望各国化学家统一对研究对象的科学用语，定义分子和原子的性质。而这正是热情似火的西西里化学家斯坦尼斯劳·坎尼札罗（Stanislao Cannizzaro，1826—1910）一直倡导的，他如愿以偿地参加了会议。还有来自俄国西伯利亚、踌躇满志的德米特里·伊万诺维奇·门捷列夫（Dmitri Ivanovich Mendeleev，1834—1907）。代表们全程讨论了凯库勒的建议，虽然没有得出一个人人接受的结论，但是种子已经悄然埋下。

与会期间，很多代表阅读了坎尼札罗1858年发表的一篇文章。他在文中回顾了19世纪早期的化学史，并呼吁化学家们严肃对待他的同胞、来自乡下的阿伏伽德罗的研究，后者清楚地划定了原子和分子的界限。坎尼札罗还认为，确定元素的相对原子量迫在眉睫，并且提出了测定方法。

门捷列夫深受启发。门捷列夫有一位令人敬佩的母亲，他是14个孩子中最小的一个，母亲把他从西伯利亚带到圣彼得堡系统地学习化学。门捷列夫效仿当时很多出色的化学家，依据亲手实验和授课内容编写了一本教材。他和坎尼札罗不谋而合，也渴望对已知的诸多元素进行排序。化学家们已经证明一些固定搭配，例如我们称作“卤素”家族的氯、溴、碘等都有类似的反应方式，它们也可以在反应中互换。某些金属，例如铜和银也在反应中有相似之处。门捷列夫开始依照元素的相对原子量列表（他仍然把氢定为1），并在1869年公开了他的这些想法。

不仅如此，门捷列夫还绘制了一张有横行和竖列的表格。你可以上下左右交叉地看，总能找到化学性质相似的元素间的关系。他命名的这份“元素周期表”一开始非常粗糙，仅引起了为数不多的几名化学家的关注。随着门捷列夫不断地添加细节，有意思的事情发生了：他的表格显示到处都有被遗漏的元素，它们的位置空着，因为其还没有被发现，事实上表格里缺了整整一列元素。多年以后，不参与化学反应的“惰性气体”填补了空缺。就像高傲的贵族不与地位卑微的人交往一样，这些气体超然于化学反应之外。直到19世纪90年代，化学家们才发现几个主要的惰性元素，门捷列夫对此先是拒绝接受，之后便很快意识到他的元素周期表早就预言了氦、氖和氩，以及它们的原子量和位置。

在19世纪七八十年代，化学家们陆续找到了更多门捷列夫的元素周期表中所预言的元素。他曾经断言后来被命名为铍和镓的元素一定存在，当时被很多化学家当作狂妄之词。随着表格逐渐被填满，化学家开始赞叹它的作用，按图索骥一般在自然界中寻找新元素。这张元素周期表解释了每一个元素是什么、它们是怎样参与反应的。门捷列夫想要了解元素的简单初衷，在实践中演变成了打开自然运转之门的神秘钥匙。今天，全世界的教室和化学实验室里都挂着这张元素周期表。

19世纪以来，化学家长期沉浸在对化学成分的思考之中：哪些是化合物特有的原子和原子团？第一届世界化学大会的“智多星”奥古斯特·凯库勒一路领先。他鼓励科学家瞄准化学的“建筑结构”。现代化学和分子生物学就是建立在对物质内原子和分子布局的掌握之上，必须要知道它们占据的位置和它们排列的形状。没有这些基础，研制新药就是无稽之谈。凯库勒智者先行，他梦见碳原子弯弯曲曲地绕出一条链子，就像蛇咬住自己的尾巴一样。这个梦激发了凯库勒最伟大的灵感，他发现氢和碳的化合物——苯——有一个环形结构。原子团或元素可以附着在苯环的不同位置上，这是有机化学的腾飞。

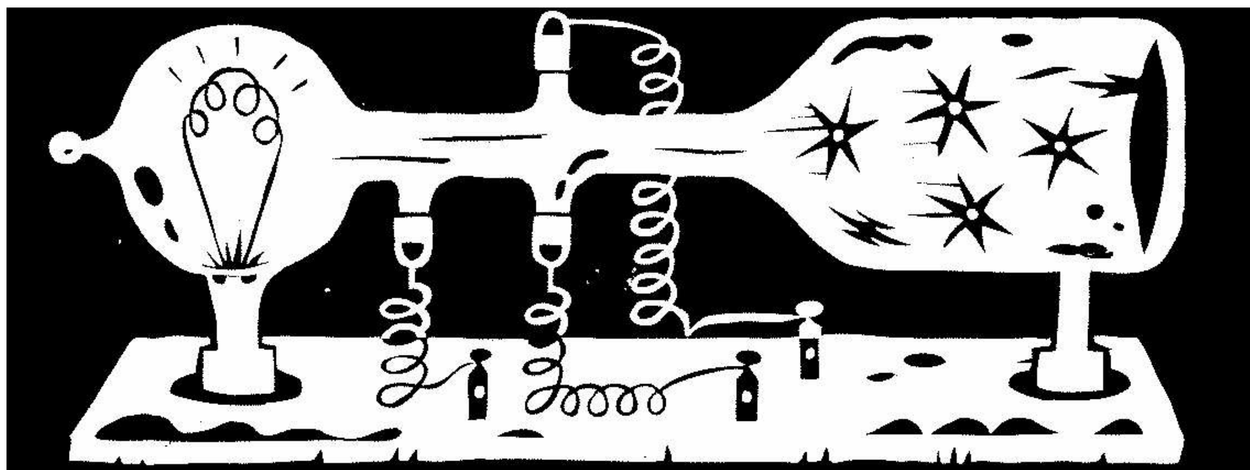
有托梦的传说，但也不能少了知难而进的努力。凯库勒在实验室里不厌其烦地做着实验。他建立了有机化学的概念——关于碳化合物的化

学，并指导全世界的化学界如何在自然的大家庭中识别它们。他被碳与其他化学物质结合时表现出的稳定性深深吸引。广泛应用于加热和照明的甲烷（CH_4）就是1个碳原子加4个氢原子的组合。如果是两个氧原子加一个碳原子，这个组合就是二氧化碳CO_2。碳和氧也可以单个结合出可怕的有毒气体一氧化碳CO，这表明原子结合的倾向性并不是一成不变的。

化学家为这些组合创造了一个词：化合价。我们可以根据每一个元素在门捷列夫的元素周期表里的位置推算出它的化合价。虽然已经知其然，但是直到物理学家公布了原子和电子的内部结构之后，化学家才真正知其所以然。“电子”把化学家的原子和物理学家的原子连接起来，我们下一章就讲讲它的故事。

第30章

走进原子



化学家爱拿原子说事。原子参与化学反应；原子在化合物里有固定的席位；依据它在元素周期表上的位置可以判断它的基本属性；每一个原子在和其他原子接触时都会有带正电或负电的倾向，并且形成固定的结合模式，这种性质叫作“化合价”。化学家也看重单个原子和原子团结合成的分子（绑定在一起的一群原子）。他们发现，虽然多数原子喜欢独处，但还是有一些——比如氢和氧——天生就是分子状态（H_2、O_2）。另外，由于氢的原子量恒定为1，其他元素的相对原子质量的计算精度也越来越高。

化学家在这些成果里没有获得更多关于原子结构的实用线索。他们意识到自己只能在实验室里操纵原子，却一直未能揭开它们的本来面目。

物理学家的兴趣则在别处。19世纪的大部分时间里，物理学家都在思考，思考怎样实现能量守恒，怎样测量电磁力、热能的性质，怎样获

知气体变化的原因。物理学关于气体的理论叫作“动力学理论”，也涉及原子和分子的概念。物理学家和化学家一致认为，原子论对他们的思路和测算大有益处，同时也都承认原子的本质难以琢磨。

对原子的一部分——电子的重大发现首次表明，原子并不是物质的最小单位。实验早已证明原子带有电荷，因为原子会分别附着在通电溶液的正负两极。物理学家虽然不能确定原子的电子属性影响化学反应，但是经过观测发现，电荷有固定的单位。1894年，剑桥的J·J.汤姆森（J·J·Thomson，1856—1940）开始使用阴极管做实验。不久后这些单位被命名为“电子”。

电子管相当简单，但是奥妙无穷。正是这样一个简单的设备让我们知道了原子和宇宙的基本结构。这根管子一部分是真空，一部分保留了少量空气，可以从两头分别注入电子。通电以后管内就会发生各种奇妙的事，比如出现很长的射线（辐射）。射线是能量柱或粒子束，那些困在电子管里的带电粒子几乎是在全速运动。汤姆森和他的同事开始在卡文迪许实验室测试电荷数和辐射量，他们的最终目标是确定两者之间的关系。1897年，汤姆森提出这些射线是亚原子粒子流（亚原子比原子更小），并且推测最轻的氢原子和它们比起来简直是庞然大物。物理学家们花了很多年证实，汤姆森发现的电子就是名副其实的电荷单位。

由此可见，原子带有电子。除此之外还有什么呢？越来越多的电子管实验逐渐揭开谜底。科技提高了试管内真空的纯度，为更强的电流通过扫清了道路。提到这些丰功伟业，我们不能忘记新西兰人欧内斯特·卢瑟福（Ernest Rutherford，1871—1937），他既是汤姆森的学生和合作者，又是剑桥卡文迪许实验室的接班人。19世纪90年代末，他们并肩确定了铀放射出的两种不同的射线，物理学界对此如获至宝。

两种铀射线在磁场里弯曲的方向相反。卢瑟福不知道它们是什么，所以简单地给了它们两个希腊字母的代号，称之为“α”射线和“β”射线，从此载入史册。他坚持不懈地和这两束奇怪的射线纠缠了几十年，能放射出这些射线的不只有铀，而是一系列的元素。这些元素在20世纪初给

科学界带来极大的惊喜，时至今日也意义非凡。它们就是“放射性”元素，其中最常见的有铀、镭和钍。科学家在研究它们的特殊性质时获取了有关原子结构的关键线索。

α射线（它有时也被称作“α粒子”——以渺小和神速著称的原子物理界并不在意两者的区别）是基础。卢瑟福和同事用它们瞄准一张非常薄的金属板进行测试。正常情况下，粒子应该穿板而过，但是偶尔会直线返回。这种情况就像是发射了一枚重重的炮弹，结果被一张纸弹了回来，你一定能想象出卢瑟福目瞪口呆的样子。这意味着α粒子碰到了原子坚不可摧的一部分——足以当作金属板的部分，实际上那就是原子核。实验证明原子内部有很大的空间，所以大部分α粒子可以毫不费力地通过。只有当它撞上中心、物质高度集中的原子核时才会被反弹回去。进一步研究显示，原子核带有正电荷。物理学家猜想，电子环绕在空旷的原子核外部，它的负电子正好中和了原子核的正电子。

我们尊奉卢瑟福为原子物理学的奠基人。1908年，他获得了诺贝尔化学奖。诺贝尔奖以它的瑞典创始人诺贝尔命名，自1901年创立以来一直是科学界的最高奖项，是很多科学志士毕生的目标。卢瑟福是一个伯乐，他帮助很多出众的学生和同事赢得了诺贝尔奖。

丹麦的尼尔斯·玻尔（Niels Bohr，1885—1962）就是其中之一。玻尔继承了卢瑟福的理论，认为原子的质量都集中在拥挤的小原子核上，并于1913年运用当时刚刚诞生的“量子”物理学手段建立了“玻尔模型”。这个模型演示了当时的最新发现，形象地描述了原子内部。玻尔把整个原子结构比喻成我们的太阳系，太阳即原子核居中，行星即电子分散在外围各自的轨道上。带正电的原子核的重量决定了原子的质量和它在元素周期表上的座次。原子核由带正电的质子组成。原子越沉，核内的质子越多。质子数和电子数必须恰好抵消，以保证原子整体为中性。他用“量子”解释电子围绕原子核在不同轨道上的运行。量子物理学最引人注目的部分是主张自然万物——可能是一堆东西，也可能是能量，或者是任何一样你感兴趣的东西——皆由特定的、单个的小“包”组成

（即“量子”，我们将在第32章讲述量子的故事）。“玻尔模型”中电子轨道的量子状态各不相同。电子离原子核越近，受到的吸附力越强，反之则越弱。远离原子核的电子会参与化学反应或形成电流和磁场。

这样的见解似乎太过高深莫测——事实的确如此，玻尔也知道。但是，玻尔认为玻尔模型为物理学家和化学家搭建了共享的平台。这个理论基于物理学家的实验，却在解释化学家的研究中深入发展，尤其为解释元素周期表里不同的原子价和元素组合立下了汗马功劳。某些元素独来独往是因为只有一个自由电子，而那些可以随机应变的元素总是带有多个自由电子。虽然事实上原子的复杂性大大超出玻尔的预料，但是他的原子模型一直是现代科学界的标志之一。

五花八门的新问题接踵而至。首先，带正电荷的质子们是如何在原子核的紧密空间内共存的？电荷同性相斥，异性相吸（和磁铁一样），那么为什么质子没有互相推搡，为什么电子没有被吸引？其次，如果氢作为最轻的原子，其原子量为1，可以推断它含有一个质子和一个几乎没有分量的电子，质子的原子量是1似乎合情合理。那么，为什么元素周期表里的原子量不是按照1、2、3、4、5……这样简单、规律地递增呢？

要回答第一个问题必须等到量子力学的进一步发展。第二个关于原子量排序的问题，很快被卢瑟福在剑桥大学的同事詹姆斯·查德威克（James Chadwick，1891—1974）解决了。1932年，查德威克公布了爆炸性的实验结果。自卢瑟福开始，α粒子轰击术已经成为研究原子结构的物理学家们的撒手锏。查德威克的对象是他偏爱的金属铍，他发现铍有时候会发射出一个原子量为“1”的中性粒子。查德威克根据卢瑟福的建议将这种粒子命名为“中子”——不过，人们很快证实它并不是质子和电子的结合物，正如卢瑟福预料的那样，它是一种意义重大的新粒子。对于物理学家而言，“中子”恰好弥补了解决原子量和元素周期表排列等问题所缺失的一环。我们星球的基本物质源源不断地被补充进门捷列夫绘制的地球元素表中，这是功在千秋的伟业。查德威克的中子也为“同

位素”的发现奠定了基础。有时，同一元素的原子却有不同的原子量，因为它们的中子数不同，即原子核内的中性粒子数不同。因此，“同位素”是指相同元素的不同原子，它们带有不同的原子量。即使是氢原子，有时候原子核除了一个质子外还会带一个中子，这时它的原子量就会变成“2”，而不再是“1”。发现中子及其作用令查德威克在三年后荣获诺贝尔奖。

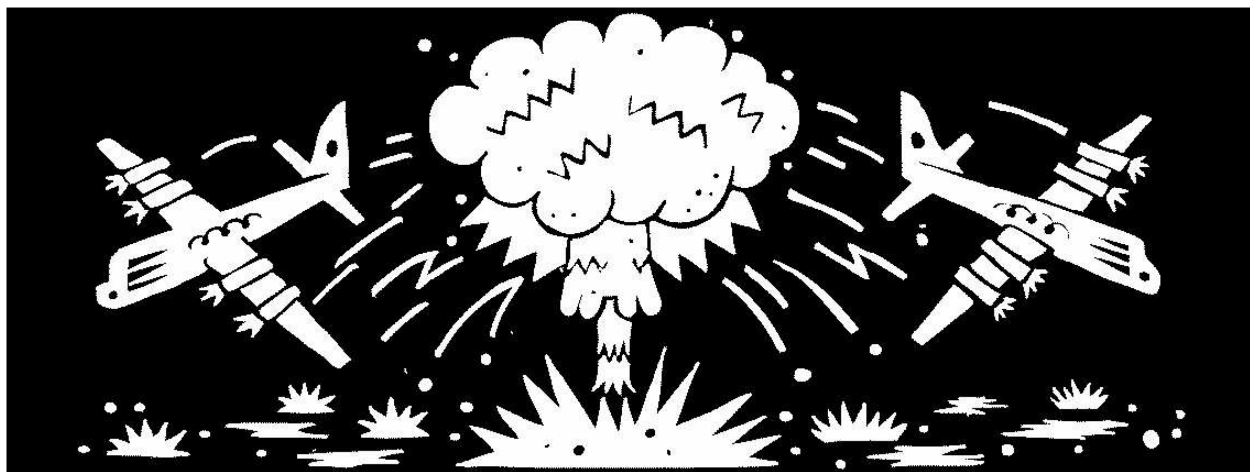
中子是摧毁其他原子的利器。它既没有正电荷也没有负电荷，自然不会受到带强烈正电、被质子紧紧包围的原子核的排斥。查德威克意识到了这一点，而且领悟出只有激发原子速度和能量的机器才能粉碎原子：回旋加速器或同步加速器。这种机器利用强大的磁场推动原子和粒子以光的速度运动。利物浦大学为查德威克出资建造了一台回旋加速器，所以他从剑桥转至利物浦。在那里，他目睹了中子高速冲进结实的原子，例如铀原子所产生的超常能量。

这些能量导致的连锁反应引出了一个惊天动地的结果——原子的分裂，即“裂变”。结束“二战”的原子弹就是它的产物，而主持英国的原子弹项目的人正是查德威克。

很多人认为查德威克的中子理论解决了原子结构（“构建宇宙的基石”）的问题。但是他们错了，还有很多问题悬而未决。物理学家几经周折掌握了电子、质子、中子、α射线、β射线和γ射线的基础知识，可是前方还有很多神秘现象等待着他们，比如X射线，比如自然如何以量子这种小的“能量包”进行交换。因此，20世纪的前沿物理学将主要集中在核物理学和量子物理学两个领域。

第31章

放射性物质



你骨折过吗？你误吞过什么东西吗？如果有过，那么你一定拍过X射线片，因为这样不需要开膛破肚，医生就能够看清楚你身体里面的情况。现在，人们对X射线习以为常，但是在19世纪末，它还只是一个概念而已。它是人类控制的第一种射线，而且是在人类对放射有准确的理解之前。随之而来的是放射性物质和原子弹。

在德国，有些人仍然习惯用威廉·伦琴（Wilhelm Röntgen，1845—1923）的名字称X射线为“伦琴射线”。伦琴不是第一个领教其威力的人，却是第一个识别它的人。科学总是这样：仅仅看见还远远不够——你必须知道你看见的是什么。

19世纪90年代，伦琴和其他物理学家（比如J. J.汤姆森）一样用电子射线管做实验。1895年11月8日，他无意中发现电子射线管附近的胶片莫名其妙地曝光了。当时，胶片上覆盖着黑色的纸，放在科学家们预计电子射线达不到的地方。接下来，他花了6周的时间探究原因。其他

科学家也遇到了同样的事，但他们什么都没做。伦琴发现这些射线是直线，而且不受磁场影响，它们不会像光线那样遇到玻璃镜片弯曲或折射，但是它们可以穿过实心的物体，甚至是一只手！伦琴的妻子是第一个照X射线片的人，在底片上清晰可见她的手骨上戴着结婚戒指。当时他还不知道这种射线是什么，所以随口叫它X射线。经过6周艰苦而卓有成效的研究，伦琴向世界公布了他的研究成果。

X射线一夜成名。医生即刻发觉了它的医学价值，可以利用它诊断骨折或者定位身体内的子弹等异物。公众对事物的反应很少这样敏锐，他们灵机一动开始卖起了“防X射线内衣”。物理学家对X射线的本质争论不休，经过10多年的深入研究才证明，X射线是一种波长超短的高能量射线。早些时候，实验者曾经注意到它会灼伤人体并留下疤痕，所以自1896年开始，他们试着用射线杀死癌细胞。很久以后，人们才意识到它的危险性，有几名早期实验者死于辐射的毒害作用，他们得了一种叫作白血病的血癌。X射线既是癌症的对手，也是癌症的帮凶。

在伦琴研究X射线的时候，法国人发现了另外一种形式的辐射——放射。亨利·贝克雷尔（Henri Becquerel，1852—1908）一直在研究荧光，它能让物体发光或者物体本身所发出的光。他选择了符合条件的铀合成物。1896年，贝克雷尔经历了和伦琴一样的照片曝光事件，他同样认为自己发现了神奇射线的新来源。但是他发现的射线和伦琴的不一样。它是另一种辐射，没有X射线“透视”的戏剧效果，不过仍然值得研究。

在巴黎，一对著名的夫妻搭档迎接了这个挑战，他们就是物理学家皮埃尔·居里（Pierre Curie，1859—1906）和玛丽·居里（Marie Curie）。1898年，居里夫妇收到1吨沥青铀矿——它们含天然铀，是类似沥青一样的东西。他们的手在铀的提纯过程中被放射性物质灼伤，但是他们发现了两种新的放射性元素，并将它们分别命名为“钍”和“钋”，后一个名字是为了纪念居里夫人的祖国“波兰”，这两种元素的性质和铀相似。当时已经发现了β射线（电子束）、α射线（卢瑟福在1907年证实

它就是没有电子的氦原子，带有正电荷）和γ射线（不带电荷，后被证明是和X射线类似的电磁射线），全世界的科学家都恨不得马上找出更多威力四射的射线。皮埃尔在街上意外丧生以后，居里夫人带着两个年幼的孩子继续从事他们未竟的事业。居里夫妇是真正为科学献身的英雄。

放射性物质的发现几乎可以说是实现了古代炼金术士的梦想——把一种元素变成另一种。炼金术士想把铅或其他常见的金属变成金子，而放射性物质可以把铀转换成铅，令贵金属贬值！这勉强算是实现了炼金术士的愿望吧。但是，大自然中还有更多他们连想都不敢想的事。

放射性物质和X射线一样有很高的医学价值。居里夫人发现的另一种放射性元素“镭”可谓无价之宝。它能杀死癌细胞。但是和X射线一样，镭的高剂量应用也会致癌。很多早期的工作人员，包括居里夫人在内都因为缺少必要的安全防护措施而死于辐射。居里夫人的女儿伊雷娜获得了诺贝尔化学奖却英年早逝，和居里夫人一样被血癌夺去了生命。

铀、钍、钋和镭是天然放射性物质。这意味着什么呢？这些元素就是物理学家所说的“重元素”。它们的原子核密密实实，极不稳定，放射线正是这种不稳定性的产物。这种不稳定性导致了元素的“放射性衰变”，即此类元素在粒子丢失时会自然地衰变成另一种元素，移到元素周期表的另一个位置上。科学家谨慎地进行着对衰变的研究，不断地补充元素周期表的空白，这项工作任重道远。

放射性物质为追溯地球历史提供了行之有效的方法——“放射性年代测定法”。1905年，欧内斯特·卢瑟福首次提出用它测定地球的年龄。物理学家称一种天然放射性物质（比如铀）中一半数量的原子完全衰变成另一元素（对应铀的是铅）的时间为该元素的“半衰期”。元素的半衰期从几秒钟到几百万年都有，差别很大。科学家掌握了元素的半衰期以后，就可以通过对化石或岩石（只能是天然标本）内原始元素和衰变产物的数量的对比来估算它们的年代。有一种特殊的碳是天然的放射性物质，它的半衰期常被用来推算已绝迹生物的化石年代。一切活着的生物

都和碳密切相关，直到死亡才会停止对碳的需求，所以放射性碳在化石里的数量提供了化石成形的参考时间。同样的方法可以把岩石的年代圈定在一个更长的时间范围内。这项技术改变了化石研究，我们不再说它们哪个古老一点儿，哪个年轻一点儿——因为我们可以知道它们的大概年龄了。

物理学家很快就发现了放射性能量的无穷威力。铀一类的天然放射性元素，以及像碳一样有放射形式的普通元素少之又少。但是，你可以用α粒子或中子轰击原子，人为地利用很多元素获得放射性能量。这表明原子核里聚集了丰富的能量。所以过去的一百年间，无数物理学家前仆后继地寻找开发这些势能的方法。

当你轰击一粒原子，令它的原子核抛出一个α粒子的时候，你是在“分裂”这个原子并且把它变成了另一个元素，这就是原子“裂变”。原子核失去了两个质子。反之，一个原子吸收一个粒子变成新元素称作“核聚变”。无论是“裂变”还是“聚变”，其过程都会释放能量。20世纪30年代，德国和奥地利的多位物理学家一起证明了“核裂变”，莉泽·迈特纳（Lise Meitner，1878—1968）就是其中之一。她出生在一个犹太家庭，虽然改信了基督教，但还是不得不在1938年被迫出逃，以躲避德国纳粹的迫害。迈特纳提出，两个氢原子聚变后形成氦原子，氦在元素周期表上排在氢的后面。她通过研究太阳和恒星，得出氢到氦的转变是恒星能量的重要来源的结论。（科学家用分光镜观测太阳时发现了氦原子特殊的波段，所以最早发现氦是在太阳上而不是在地球上。）就理论而言，人们完全可以制造一枚爆炸时能够释放超级能量的氢弹（聚变炸弹）。但是这个实验需要在非常高的温度下操作，20世纪30年代的实验设备还达不到要求。

不过在同一时代，原子弹（裂变炸弹）更具有可实现性。当时正逢纳粹在欧洲横行霸道，战争一触即发。有几个国家的科学家，包括德国在内，都在秘密地研发这种灾难性的武器。意大利物理学家恩里科·费米（Enrico Fermi，1901—1954）谱写了这支绝命舞曲的主旋律。他领

导的小组证实，用“慢”中子轰炸原子可以迎来期待中的原子裂变。慢中子穿过石蜡（或类似物质）踏上寻找目标原子的旅程，降低的速度使中子可以更准确地在原子核着陆，引起核裂变。由于意大利对纳粹怀有同情，所以，1938年费米效仿那些当时最具创造力的科学家（还有作家、艺术家和思想家）前往美国。现在，我们有时也会用智囊流失指代最优秀的人才为获得更好的工作环境而出国的行为，他们可以因此获得更高的收入、更大的实验室、更多能实现梦想的机会。但是，在20世纪30年代末和40年代初，卓越的科学家远走他乡却是因为失去了工作和生存的权利。纳粹和法西斯势力做了很多惨绝人寰的事情，同时也改变了科学技术的版图。这场迫不得已的智囊流失极大地促进了英国和美国的科学进步。

很多流亡美国的科学家加入了绝密的“曼哈顿计划”。它是史上最昂贵的科研项目之一，启动于那样一个令人窒息而绝望的年代。20世纪30年代末，对放射性元素的研究进展，令物理学家意识到他们可以制造原子弹了。唯一的难题是如何控制它，因为有些人觉得它太危险：爆炸引起的连锁反应可能会毁掉整个星球。1939年，第二次世界大战爆发，在英国和美国的物理学家马上意识到德国和日本的科学家一定在加紧研制原子弹，所以同盟国必须分秒必争。于是，一批科学家联名上书美国总统富兰克林·罗斯福，敦促他授权执行同盟国的反攻计划。阿尔伯特·爱因斯坦就是其中一员，他不仅是全世界最赫赫有名的科学家，还是逃离纳粹德国的最知名的避难者。

罗斯福批准了。在田纳西州、芝加哥和新墨西哥州的基地一切准备就绪。“曼哈顿计划”是军工项目，科学家们必须放弃科学“公开、分享”的宗旨，对研究进展守口如瓶。战争改变了人性。在这件事上，美英对重要的盟国苏联也始终保密，并不信任。不过苏联还是从一名美国科学家那里获得了一些秘密情报。直到1945年，德国、日本和苏联的原子弹研发依然没有取得突破。而“曼哈顿计划”已经研制出两枚原子弹，一枚利用铀，另一枚利用钚——一种人造放射性元素。一枚小型实验弹在美国沙漠成功爆破。原子弹即将投入使用。

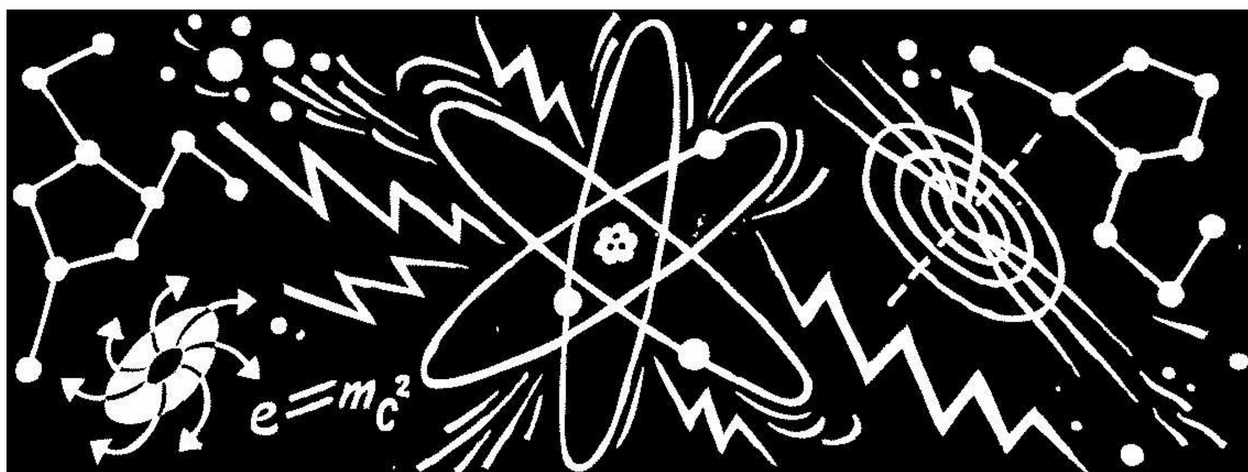
1945年5月8日，德国投降，欧洲免遭原子弹袭击。但日本仍一意孤行地在太平洋挑衅。8月6日，美国新任总统哈里·杜鲁门命令在日本广岛投下铀弹——用一块铀轰击另一块铀造成的爆炸。日本仍执迷不悟。三天后，杜鲁门下令在长崎扔下钚弹。两次爆炸共造成30万人丧生，其中大部分是平民，最终日本投降。战争结束，世人领教了原子能惊天动地的威力，而我们的世界也被彻底地改变了。很多参与制造这些杀伤性武器的科学家知道，是他们的科研成果结束了可怕的战争，但是他们对自己制造出的武器忧心忡忡。

能量超常的原子能在全世界发挥重要作用的同时，也对全世界构成了威胁。“二战”结束后，苏联和美国之间的猜疑仍挥之不去，并且发展成为冷战。两国都有丰富的核武器储备，但值得庆幸的是，双方都没有气急败坏地滥用它们。虽然国家间的一系列协议逐年减少了核武器的库存，但是拥有核武器的国家却越来越多。

人们运用“曼哈顿计划”中积累的物理知识增强了对能量释放的控制，趋利避害地利用能源。比如，利用核能发电所产生的温室气体比利用碳或其他矿物燃料发电时少得多。在法国，几乎3/4的供电来源是核能。尽管有益，但恐怖主义者利用核能造成的危害又令人们对它感到十分恐惧。现代科技对政治和社会价值观的复合性所下的最好注脚莫过于对核能的思索：人类该如何运用知识的缰绳驾驭核能这匹不羁的野马？

第32章

打破游戏规则：爱因斯坦



阿尔伯特·爱因斯坦有着一头标志性的白发；他创立了著名的物质、能量、空间和时间理论体系；他写下了等式$E=mc^2$；他的思想高深莫测，改变了人们思考宇宙的方式。曾经有人问爱因斯坦："你的实验室是什么样的？"他的反应是"嗖"地一下从兜里掏出钢笔。为什么？因为他是一名思想家，而不是行动者。爱因斯坦的工作台是课桌和黑板，而不是实验室的操作台。

当然，他也需要实验数据的支持，他最信赖的实验结果来自德国物理学家马克斯·普朗克（Max Planck，1858—1947）。普朗克既是理论学家又是实验学家。他在柏林大学工作，快到40岁的时候，有了一生中最重大的发现。普朗克从19世纪90年代开始研究灯泡，想制造出一种既省电又明亮的灯泡。普朗克实验的理论基础是黑体说。黑体是一种完全吸收所见光、不会造成一点儿反射的假想物。你可以自己站在阳光下体验一下：穿一件黑色T恤会比穿一件白色的T恤要热得多，因为黑色衣服

吸收了阳光的能量。同理，随光而来的能量被黑体吸收。但是，既然黑体不能把全部能量存储起来，那么它又是怎样释放能量的呢？

普朗克知道黑体吸收的能量多少取决于光的波长（频率）。他在严谨测量的基础上写出了能量和波长的代数等式，即E（能量）=h（常数）×v（波长的频率）。在这个公式里，能量值总是整数，没有小数。这一点相当重要，因为整数意味着能量来源于一个个独立的“小包裹”。他给这些小包裹起名为“量子”，就是“数量”的意思。普朗克在1900年向新世纪介绍了他的量子理论。从此以后，物理学和我们对世界的理解方式再也不是之前的模样了。常数（h）被称作“普朗克常数”以示纪念。这个公式的意义可以和更知名的爱因斯坦等式$E=mc^2$相提并论。

有些物理学家思忖良久才领悟到普朗克实验的真谛，而爱因斯坦一眼便识破天机。1905年，爱因斯坦发表了三篇论文，从此声名远扬。那时候，他还只是苏黎世专利局的一个小职员，仅在闲暇时间搞点儿物理研究。他凭借第一篇论文把普朗克的理论推向新的高度，并在1921年摘得诺贝尔奖的桂冠。爱因斯坦对普朗克的黑体辐射考虑得更多，他接受了当时全新的量子分析法。深思熟虑后，爱因斯坦通过一系列才华横溢的演算，证明光的确是通过一些能量小包裹传播的。这些小包裹聚在一起是波，但在运动的时候独来独往，物理学家闻言目瞪口呆。因为自从100年前的托马斯·杨（Thomas Young）开始，他们始终相信实验状态下得出的统一结论：光是连续的波动，并按波的方式运动。现在居然有一个在专利局打工的无名小辈说光可能是粒子——“光子”或者叫作“光量子”。

爱因斯坦同年的第二篇论文也是石破天惊，他在这篇论文中提出了“狭义相对论”，说明所有运动都是相对的，只有通过和其他事物的比较才能下结论。这是一个高深的理论，但是如果你发挥一下想象力，它就会变得浅显易懂。（爱因斯坦的伟大之处在于，他对已知数据的透彻分析和对未知世界的无限探索，在他的大脑里经常萦绕着这句话：“如果……会怎样？”）假设一列正在出站的火车，某节车厢的中间有一个

忽明忽暗的灯泡，每节车厢的尾部都挂着一面镜子，同时接收灯泡传来的信号。如果你刚好站在车厢的正中间，你会看到灯同时出现在两面镜子里。与此同时，站台上的人看到的却是分开的。虽然灯照到镜子里的时间是一样的，但是列车在向前开，所以站台上的人会先从较远的镜子（车厢前端的镜子）里看见闪光，然后从较近的镜子里再看到（车厢后端的镜子）一次。由此可见，既然光速是不变的，那么视觉上的不同取决于——更准确地说是相对于——观察者是运动的还是静止的。爱因斯坦强调（当然补充了很多天书般的等式说明），时间是现实的重要维度。从此以后，物理学家不能只考虑熟悉的三维空间——长度、宽度和高度了，时间从此也要算在其中。

爱因斯坦证明，无论光离我们远去还是朝我们而来，速度是不变的。（声速则不同，这就是为什么我们可以从火车的声音判断它是开走了还是向我们驶来了。）所以，狭义相对论中的相对性不适用于这种稳定的光速，除非包括观察者和时间因素在内。时间不是绝对的而是相对的，时间和记录时间的钟表在旅行的时候都变慢了。有这样一个老生常谈的故事：一名宇航员几乎以光的速度完成旅程回到地球，结果发现时间流逝，她的熟人不是老态龙钟就是已经离开人世，她却没比离开的时候老多少。她的表变慢了，所以她没有意识到自己离开了多久。（这是一个假想实验，只能出现在科幻故事里。）

这些成果还不足以让爱因斯坦心满意足，于是他又写出了著名的等式$E=mc^2$，把质量（m）和能量（E）连在了一起。“c”代表光速。光速是一个很大的数值，它的平方值更大，这意味着即使是质量非常小的事物，如果全部转换成能量，也会大得吓人。原子弹只是利用了微乎其微的一点点儿质量而已。如果把你身体的质量全部转换成能量的话，其威力相当于15颗氢弹。不过无论如何，你千万不要拿自己做试验。

接下来的几年里，爱因斯坦拓展了自己的思路，并于1916年提出了一个更加基本的框架来解释宇宙，即“广义相对论”。他阐述了自己对引力和加速度关系的理解，以及对空间结构的解释。爱因斯坦证明引力完

全和加速度相等价：通常情况下，你在电梯里掉的苹果会落到电梯的地板上。现在，假设有人剪断了电梯的绳索，绳索被剪断的同时，苹果从你的手上掉下来，那么你将和苹果一起降落。苹果对于你来说没有真正地运动，因为你们在一起降落。这期间，你可以随时伸手接住苹果，电梯（和你）继续往下，但苹果永远不会落地。这就是太空景象的再现，宇航员和太空船其实都在自由下落。

爱因斯坦的广义相对论表述了空间，或者更准确地说是弯曲时空的概念，这样一来，物理学家百思不得其解的问题便迎刃而解。他提出光遇到庞大物体会发生弯曲，因为光（由光子组成）带有相对轻的质量，较大物体施加的引力会影响它。日食是最好的证明。爱因斯坦还解释了水星围绕太阳转的神秘轨迹[注]，这是牛顿那相对简单的万有引力所做不到的事。

爱因斯坦研究了非常小（光子）和特别大（宇宙）的东西，并把它们以令人信服的新方式联系在一起。他在推广自己的相对论的同时，促进了量子理论的发展。这些理论和其中的数学方法帮助物理学家更好地分析宏观和微观的世界。爱因斯坦对于物理学界的一些新潮流并不太认可，他一直坚信宇宙（包括原子、电子和其他粒子）遵循自己的规律。爱因斯坦有一句名言："上帝不掷骰子。"意思是万物皆有规律，且可以预测。当然，这种说法并非所有人都赞同，那些相信普朗克量子论的物理学家得出了不同的结论。

其他一些早期的量子研究以电子为核心。我们在第30章曾经提到尼尔斯·玻尔1913年的量子模型，其中带有稳定能量的电子按照固定的轨道围绕原子核运转。物理学家尝试用数学公式解释它们的关系，但屡试屡败，看来普通数学不能解决问题。于是，他们转向矩阵。在普通数学中，2×3和3×2没有区别，但是在矩阵中就不一定了。1926年，奥地利物理学家埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger，1887—1961）凭借特殊的算法得出了一个新的公式，薛定谔波动方程描述了原子外围轨道上电子的状态。这是量子力学的起点。它描述的对象是极其微小的，正如牛顿研

究的对象是巨大的一样。薛定谔和很多改变我们思考方式的物理学家一样在20世纪初被迫逃亡，他在都柏林度过了战争年代。而我们知道，爱因斯坦去了美国。

薛定谔的波动方程为画面描绘出一些规律。紧接着在1927年，魏纳·海森堡（Werner Heisenberg，1902—1976）提出“不确定性原理”。这个原理是哲学和实验的结合体。依据海森堡的观点，电子实验本身就会引起变化。这一点限制了我们所能获知的信息。我们能够得知一个电子的动量（质量乘以速度）或位置，但是不能同时掌握它的动量又明确它的位置，对其中一个进行测试必定会影响另一个。爱因斯坦（还有其他人）被激怒了，开始驳斥薛定谔的“不确定性原理”。然而最终，找不到证据的爱因斯坦认输了。直到今天，这个理论仍原封未动地呈现在我们眼前：我们对微观世界的了解是有限的。

保罗·狄拉克（Paul Dirac，1902—1984）也对电子情有独钟。这个让人琢磨不透的英国人简直就是另一个爱因斯坦，他的量子力学著作在30多年的时间内一直引领这个领域。他关于原子和亚原子粒子的量子活动方程式几乎是天才之作，但美中不足的是，需要补充一种特殊的粒子——带正电荷的电子——才能算得上是完美无缺，这就好比说物质和反物质必须同时存在。“反物质”的概念令人匪夷所思，因为物质本来是宇宙中实实在在的东西。没过几年，这种反粒子就被成功找到，科学家发现了“正电子”。它是电子的孪生兄弟，带有一个正电荷，碰到另一个电子迸发出能量后就会一起消失，物质和反物质在相逢的眨眼之间就会同时湮灭。

正电子的发现告诉物理学家，原子的成分不仅仅是质子、电子和中子。我们可以等物理学家利用史无前例的高能量去“观察”原子和粒子之后，再回来看这些伟大的发现。“观察”一词用在这里其实并不是特别准确，因为在使用高能量的时候，物理学家并不能直接观察实验对象，只能看见电脑屏幕上的亮点，或者磁力的变化，抑或是实验配置的能量变化。但是，原子弹、核能和对量子潜能的估算都证实了自然的力量和奇

迹——即使我们根本无法真正看见它。

马克斯·普朗克的“能量包”（量子），与阿尔伯特·爱因斯坦的质能关系理论是认识同一物体的两个角度，它们永远地改变了我们对宇宙的认知方式。质量和能量、波动和粒子、时间和空间，自然向我们坦露，它可以“既是这个又是那个”，而不一定是“二者择一、非此即彼”的。这些理论不但可以帮助我们理解原子的结构和宇宙的形成，还帮助我们在夜里找到回家的路。卫星离地球那么远，导航卫星一定包含了狭义相对论。如果没有它，你很快就会迷路。

---

1. 即对水星进动现象的解释。——编者注

第33章

移动的陆地



地震时的天崩地裂，让人胆战心惊。“天崩地裂”说的是地震会造成大规模的坍塌，“胆战心惊”则是因为地震撼动了我们脚下本不该移动的土地。虽然多数地震不易察觉，但它无时不在。研究地球构造就是测量这些看不见、察觉不到的东西，很多科学都是这样，然后还要说服别人相信你是正确的。不过，大陆和海底的地壳的的确确在我们脚下移动着。

我们人类的出现只是历史长河中的一次闪光，是地球漫长进程的一瞬间。地质学家不仅要掌握科学技术，还要具备想象力，才能突破条条框框，有所创新。这是所有优秀科学家必备的素质，即便他们只是在实验室里用手头的资料做做试验，检验一下自己的想法。

19世纪的地质学家还在沿用传统的手法：化石挖掘、岩石分类、地震和火山的灾后分析。他们汇总这些信息，有理有据地推断地球的历史，他们的很多结论经受住了历史的考验。不过，也有大量问题纠缠不

清，等待新的突破。古老的“灾变论”相信各种力量，甚至神力的介入——比如《圣经》里描写的挪亚大洪水。取而代之的新焦点是时间跨度——被称作“深时”的浩瀚时间。20亿年前，地球是什么样子的？40亿年前、60亿年前又是怎样的呢？深时可以解答以下三个关键问题吗？

第一，为什么主要的几块大陆看起来好像是从海洋上切下来之后拼插在一起的，就像一块硕大的拼图呢？南美洲东海岸和非洲西海岸可以完美地契合在一起，难道只是巧合吗？

第二，为什么在大洋彼岸的巴西能够发现和南非类似的岩石结构？为什么大不列颠这样一个小岛却有着丰富多样的地貌？它既有悬崖耸立、海湾蜿蜒的苏格兰高地，又有南部萨塞克斯郡威尔德绵延起伏的丘陵地带。难道英国一直被欧洲大陆遗弃在外？亚洲和阿拉斯加又是怎么回事？

第三，为什么有些动物和植物在某些地方不期而遇？为什么生活在北美东部的蜗牛在西部不见踪影，却出现在欧洲？为什么澳大利亚的有袋类动物和其他地方的动物有着天壤之别？19世纪50年代，达尔文和华莱士曾做出一些前瞻性的说明，进化论也解释了不少这类疑问。达尔文做了很多“臭气熏天”的实验，他把种子放在装有海水的桶里泡上好几个月，让它们体验航海旅行，目的就是看看它们回到土里后还能不能再发芽成长。有些种子活了，这是一种答案。达尔文还以多种方法检测了鸟类能否千里迢迢地运送种子、昆虫和其他生物。事实证明它们可以，但这还不足以解释所有的问题。

不过，有一种激进的理论可以消除很多疑惑。这个理论认为，陆地并不是一直待在它现在所处的地方，它们也许是靠陆地自然带——“陆桥”连接在一起的。从19世纪末开始，很多地质学家认为一些地方曾经出现过陆桥。有足够的证据表明英国曾经和欧洲相连，这充分解释了为何英国出土过熊、土狼和其他一些动物的化石，但现在的英国却没有这些动物。很早以前，北美越过白令海峡与亚洲接壤，美洲印第安人和动物毫无疑问曾经往返两地。陆桥沟通非洲和南美的可能性似乎微乎其

微，但是，奥地利著名地质学家爱德华·聚斯（Eduard Suess，1831—1914）在他有关地球的5卷本巨著（于1883—1909年陆续出版）中对此却提出质疑。爱德华·聚斯写道，纵观地质史，地球表面不断的升降为非洲和南美的连接创造了条件。现在的“海床”应该就是以前两块大陆的接口。

即便是面对这样一部5卷本的巨著，仍有人持怀疑观点。德国人阿尔弗雷德·魏格纳（Alfred Wegener，1880—1930）登场了。魏格纳对气候的兴趣不亚于他对地质的热爱。1912年，他就自己有关大陆移动的理论做了一个专题演讲：“大陆漂移”的起源。1915年，他将这篇讲稿出版成书。魏格纳在后半生一直不懈地为这个理论搜集线索，他率队前往格陵兰岛考察，希望寻找更多的论据，却不幸遇难，就此长眠在了那里。魏格纳极富想象力的推论是：大约20亿年前，只有一块广袤的陆地——“盘古大陆”被一片汪洋大海围绕着。这块超级大陆慢慢分裂成小块并漂浮在海洋上，就像破裂的冰山在海面上漂流一样。不同的是，冰山会融化消失，大陆的碎片则变成了新的陆地。并且，魏格纳认为陆地在不停地断裂、移动，进程为大约每年10米。这个估算实在太离谱了——最新数据表明这个距离只是每年几毫米而已。不过，任何事情日积月累的结果都不可小觑。

和魏格纳志同道合的人不多，他的支持者主要来自他的祖国德国，多数地质学家认为他的理论玄乎得像是科幻小说。“二战”期间，潜艇开始大规模地进军海底。战争结束后，潜艇的新发现被公之于众：海底有绵延不断的群山和峡谷，还有死火山（甚至活火山）。地质学家哈里·赫斯（Harry Hess，1906—1969）曾在美国海军服役。他追寻这些山脉和沟壑的走势，从水下研究到他熟悉的陆地；他追踪研究了“断层线”，那是一个地震和火山活动十分活跃的区域，并且得出结论：陆地和海底一脉相通、互相渗透，陆地并没有像魏格纳假设的那样“漂浮”。那么陆地是怎么移动的呢？

赫斯的研究吸引了物理学家、气象学家、海洋学家和地震学家，当

然还有必不可少的地质学家。他们全力以赴、各显神通地推算地球的历史。事情当然并不简单。探入地壳的设备很快就被地壳内部迅速升高的温度所熔化。所以，我们对地球内部结构和组成的了解大多需要通过间接手段完成，而科学经常如此。

长期以来，人们认为火山喷发是地球在利用火山熔岩淤积的热量。从某种意义上来讲，这样说并没有错，不过，这种说法不够全面。科学证明放射性元素（比如铀）在衰变过程中自然地释放出大量能量，这是地球内部的另一个热源。既然放射性元素为地球提供持续的热能补给，那么由来已久的“地球从炙热的状态冷却”的说法就显得过于草率了。

比如，地质学家阿瑟·霍姆斯（Arthur Holmes，1890—1965）就认为这种说法未免以偏概全。霍姆斯认为，地球以我们熟悉的对流的方式散发掉了大部分内部持续生成的热量。霍姆斯意识到了关键的一点，这一切并不是发生在地球的最上层——我们生活的地表，而是在靠近地心的下一层——被称作“地幔”的地方。他认为那里的熔岩会缓慢地上涨，就像在浴缸里的热水一样。当它们上升到达温度比较低的地区后就会冷却，然后再下沉，被其他的熔岩代替，如此反复，无休无止。其中一些熔岩在上升的过程中遇到火山爆发，于是喷薄而出。大部分熔岩则一直藏在地表之下，并在冷却和下沉时传导着一种机械能，把陆地一毫米一毫米地慢慢撕开。

随着对海洋深处和地表深层的勘探，科学家发明了一种新的计算星球年代的方法，“深时”有了真正的含义。物理学家发现的放射性物质（请见第31章）奠定了放射性测量法的基础。科学家们得以通过对比岩石样品中放射性元素和残余物质（比如铀和铅）的数量识别岩石的年龄。利用这项技术，即使在它们成形之后再也没有新的比对物，我们也可以知道岩石的岁数。确定不同岩石层的年代有助于推算地球的历史。有些陆地上的岩石的年龄已超过40亿年，而那些沉在海底的都是新生代。海洋没有陆地那么长寿，它们总是不断地死亡和重生。当然了，这是一个漫长的进程。所以，再到夏天走在海滩上的时候，你用不着胡思

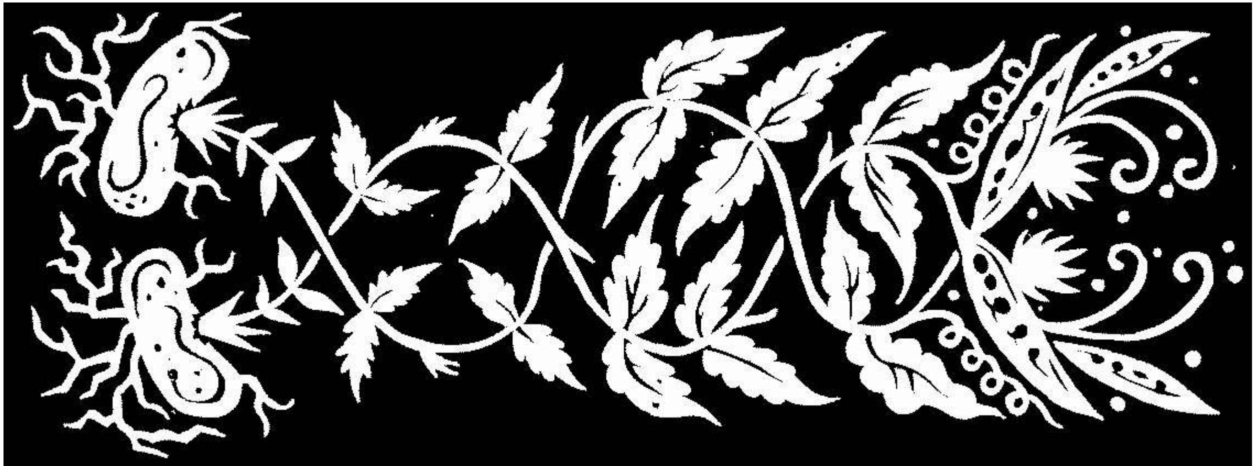
乱想。（不过话说回来，人类活动导致的全球变暖致使两极冰层不断融化，近几十年内确实存在海平面上升的危险。）

岩石在形成的过程中吸收了放射性元素，并且保留了它所含的铁或其他磁性敏感物质的磁极。磁性和放射性一样提供了破解岩石年龄的依据。自地球存在以来，磁场的两极并没有坚守阵地。有那么几次，南极和北极转了个圈，所以对南、北磁极的辨别也是判断岩石形成于何时的手段。如果经验可靠的话，我们活着的时候罗盘应该一直指向北方，我们的孙子看到的也应该是这样，但再往后就不一定了，而且是在不那么遥远的将来。

科学家通过磁场、地幔对流、深海地貌和放射性测定年代法捕获了古代地球环境的蛛丝马迹。综合所有线索后，科学家发现，焦点都集中在了魏格纳学说上，然而地质学家对此仍是将信将疑。“信”是因为陆地确实移动了：卫星的精确测试证明了这一点。“疑”是因为他提出的“漂流”或“漂移”一说是错的。不过，约翰·威尔逊（John Wilson，1908—1993）等人提出，靠近地表的地幔是由一系列巨大的板块组成的。这些板块连接着陆地和海洋，拼插在一起构成地球的表面。但是，它们并不是严丝合缝的，所以在接口处出现了“断层线”。这个结论为魏格纳大胆创新的理论画上了完美的句号。板块构造学就是研究板块之间靠近、叠加或碰撞的影响的学科。想想地球上的最高峰——喜马拉雅山的珠穆朗玛峰吧，它之所以能这么高，是因为欧亚板块和印度洋板块碰撞挤压形成了喜马拉雅山脉。诺贝尔奖没有设立地质学的奖项，不过也许应该设立一个。板块构造学充分解释了地震、海啸、山峦、岩石、化石和生物的起源和演化。我们的地球古老而奇妙。

第34章

遗传给我们带来了什么？



你长得更像妈妈还是更像爸爸？或者，你像祖父、姑姑或者姨妈？如果你擅长踢足球，抑或弹得一手好吉他，演奏笛子也在行，那么你家还有其他人有这样的本事吗？你只能从和你有血缘关系的人的身上继承这些特征，而姻亲关系是不行的。好比继父或继母，他们可以带给你很多美妙的东西，但是不可能给你他们的基因。

我们现在知道，诸如眼睛和头发的颜色等很多东西都可以通过基因代代相传。遗传学就是研究基因的学问。我们用“遗传”或“继承”来表达基因传递的过程。我们是谁这件事基本全凭基因做主。但是，人类是怎么意识到这些小东西的大作用的呢？

让我们简单回顾一下查尔斯·达尔文（见第25章），他的研究是围绕着遗传展开的。虽然他并没有找出遗传的门道，但遗传是达尔文物种进化论的精髓。自1859年《物种起源》问世以来，生物学家一直争论不休。他们尤其对是否存在“软遗传”兴趣浓厚。软遗传的说法与法国自然

学家让-巴蒂斯特·拉马克（Jean-Baptiste Lamarck，1744—1829）息息相关，他坚信物种的发展是逐渐演变而来的。以长颈鹿的长脖子为例：它们是怎样长期演化出来的？拉马克解释说，因为长颈鹿总是伸长脖子吃高高在上的树叶，慢慢地有了一些细微的改变，这种改变代代相传，经过足够长时间的积累之后，一种短脖子的动物逐渐长出了修长的脖子。环境对有机体的这种“塑造”或者说“改善”可以传递给后代。

证明“软遗传”的实验操作非常难。达尔文的表弟弗朗西斯·高尔顿（Francis Galton，1822—1911）进行了一系列谨慎的实验，包括给白兔输入黑兔的血，但并没有迹象表明混血后的兔子后代受到了血缘的影响；他还观察了被断尾的老鼠的后代，它们仍然没有无尾的体征。接受割礼的小男孩长大后照样生育出了包皮完整的男性后代。

直到20世纪初，对这一理论的争执才偃旗息鼓。有两件事使大部分生物学家接受了动植物后天习得的特征不能遗传的观点。第一件事是生物学界重新发现摩拉维亚（现属捷克共和国）修士格里哥·孟德尔（Gregor Mendel，1822—1884）的文章。19世纪60年代，孟德尔曾经在一本鲜为人知的小册子里发表了他在修道院花园里的实验结果，他开始痴迷豌豆的时间甚至早于高尔顿切断老鼠的尾巴。孟德尔想知道，小心翼翼地把具有显著特征的豌豆“杂交”（把不同颜色的豌豆种在一起）后会结出什么样的豌豆。用豌豆做实验的优点是它长得快，所以上一代传给下一代的效果便于观察。豌豆在豆荚里的时候差异显著——要么是黄色，要么是绿色，裹着的豆皮可能是皱巴巴的，也可能是光溜溜的。孟德尔发现这些特征的遗传具有精准的数学规律。如果一株绿色豌豆（种子是绿色的）和一株黄色豌豆杂交，第一代则全部都是黄色的。再用第一代的植株混合培育第二代，那么每4株豌豆中则有3株黄色，1株绿色。黄色特征在第一代占主导地位，但是到了第二代，豌豆的隐性特征（绿色）再次出现。这个规律说明什么呢？孟德尔得出了“颗粒遗传”的结论，意思是动植物以独立单元的形式继承祖辈的特征，既不是一点儿一点儿地接受“软遗传”的改变，也不是父母双方等价贡献的结果。遗传是绝对的，豌豆只能或绿或黄，不存在中间色。

在孟德尔的文章不被关注的那些年，奥古斯特·魏斯曼（August Weismann，1834—1914）针对“软遗传”提出了第二个严重的质疑。孟德尔注重的是他的宗教修行，而魏斯曼自始至终是一个专注的科学家。这位拥有大智慧的德国生物学家是达尔文进化论的坚定支持者。但是，他也意识到进化论缺少对遗传的准确解释。于是，他选择以自己拿手的细胞和细胞分裂作为突破口。

鲁道夫·菲尔绍比孟德尔种豌豆早几年提出了细胞分裂的理论（见第26章）。19世纪八九十年代，魏斯曼注意到，在形成卵细胞和精子细胞时，生殖系统内母细胞的分裂与其他系统的细胞分裂迥然不同。这个不同正是关键所在。该过程被称作“减数分裂”，即子细胞内只有一半数量的染色体，而所有其他身体细胞的子细胞都有和母细胞数量相同的染色体。（如果你已经有些不太能理解，那就记住母细胞可以是任意一个存在的细胞，它会分裂成2个子细胞，游荡在身体里。它们和真正的母子没有一点儿关系。）当分别带有一半染色体的卵细胞和精子结合后，它们的染色体在受精卵中“合二为一”。这些生殖细胞与其他体内的细胞大不相同。魏斯曼认为，不管肌肉、骨骼、血管及神经等组织的细胞发生了什么，只有生殖细胞包含遗传给后代的信息。所以，再看看长颈鹿脖子的问题，假设的拉抻动作根本影响不了卵细胞和精子细胞，而恰恰是这两种细胞携带着他所说的“种质”。“种质”是遗传物质，位于卵细胞和精子细胞的染色体上，由此他把自己的遗传理论称为种质连续学说。

1900年，三个科学家几乎在同一时间分别发现了尘封的小册子上孟德尔的文章，他们唤醒了科学界对豌豆实验的重视。生物学家忽然领悟到，这是魏斯曼种质连续学说最好的论据，很快孟德尔遗传学便有了自己的名字和稳固的科学根基。

科学界随即分裂成两大阵营：“孟德尔学派”和“生物统计学派”。生物统计学派以统计学家卡尔·皮尔逊（Karl Pearson，1857—1936）为首，推崇遗传连续性理论。他们主持了重要的田野考察，测定出海洋生物和蜗牛的细微差别，并证明这些不起眼的小个性对后代的成活率（物

种繁殖效率的专业术语）起到了关键性的作用。孟德尔学派则追随剑桥生物学家威廉·贝特森（William Bateson，1861—1926），贝特森创造了“遗传学”一词。孟德尔学派侧重于孟德尔证明的遗传分离（分类）特征。他们强调生物的改变不是“生物计量派”所谓的日积月累，而是跳跃式的。不过，两派学者都接受进化的“事实”，他们的争论点在于遗传具体是怎样实现的。

白热化的对峙延续了大约20年。到了20世纪20年代，少数人开始表态说争辩双方看到的是同一个问题的正反两面，各有对错。很多生物特征的遗传是“混合的”、可以进行“生物学统计”的。比如高个子爸爸和矮个子妈妈养育的后代，其身高可能是父母身高的平均值，或者说是“混合”了父母的高度。有些孩子可能和爸爸一样高（甚至超过爸爸），但是他们的平均身高应该介于父母身高之间。人类眼睛的颜色、豌豆的颜色等其他特征则只是单亲遗传，而不是父母双方的混合遗传。有些创新的生物学家在收集完整的种群数据后，运用数学分析法消除了孟德尔学派和生物计量派之间的隔阂，J. B. S.霍尔丹（J. B. S. Haldane，1892—1964）就是其中一位。他们接受了达尔文的先见，意识到任何群体突发的变异都可能遗传给后代，但唯独带有“正能量”的突变才可以幸存。

“天生如此”何以实现也是一个关键问题。这是谜面的下半部分。关于这个问题的研究，大量的前期工作由托马斯·亨特·摩尔根（Thomas Hunt Morgan，1866—1945）在纽约哥伦比亚大学的实验室里完成。他的事业起点是观察动物的生命如何开始、胚胎如何发育。20世纪初期，摩尔根开始关注新兴的基因科学，但他一生都没有放弃对胚胎学的兴趣。摩尔根的实验室可不是一个寻常的地方，大家戏称那里为蝇室，因为里面养着千千万万代普通的果蝇（黑腹果蝇）。果蝇是方便易得的实验对象。它们的细胞核里只有4对染色体，摩尔根想要研究的正是它们的作用：染色体对传递遗传特征到底有多大贡献？果蝇的染色体在载玻片上极易观察。而且它们繁殖速度极快——放上一盘水果，你就等着瞧吧。短时间内，实验者就可以收获好几代果蝇，得以观察不同特征的果蝇杂交后的产物。如果你想知道他们为什么要选果蝇做实验，那就想象

一下把果蝇换成大象会是什么结果吧，那得多慢啊。

摩尔根的蝇室声名远扬，学生和科学家慕名而来。摩尔根成为现代科研管理模式的鼻祖：他作为“老板”负责把握方向，指导学者们开展工作；团队内的年轻人在“老板”的监督指导下操作实验。摩尔根鼓励团队成员各抒己见、协作互助，所以在他的团队中很难看到一枝独秀的现象。（摩尔根和两位年轻的同事分享了自己的诺贝尔奖奖金。）

摩尔根的重大发现简直是偶然。他发现有一只新孵化的果蝇长着红色的眼睛，而不是普通的白眼睛。摩尔根把它和白眼果蝇分开饲养。红眼果蝇和白眼果蝇的第一代里，凡是红眼的都是雌性。这个结果说明生殖细胞的染色体上携带着遗传基因，染色体决定了后代的性别。其次，果蝇后代眼睛颜色的变化和孟德尔的豌豆实验异曲同工——要么是白色，要么是红色，不存在粉色或中间色。摩尔根又观察了小果蝇的其他遗传特征，比如翅膀的尺寸和形状。他和同事在显微镜下仔细辨认了它们的染色体，并着手为每条染色体绘图，标识遗传单元（基因）的位置。突变（突然发生的性状改变）发生时，比如突然出现的红眼就可以帮助确定基因的位置。所以他们认真地分析细胞分裂时染色体的变化。

H. J. 穆勒（H. J. Muller，1890—1967）是摩尔根的学生，他发现X射线会加速突变的发生，因此获得了1946年的诺贝尔奖。他的工作给世界敲响了警钟：要警惕X射线的辐射危害，无论它是来自原子弹还是医学检查。摩尔根还证明，染色体在分裂的时候偶尔会交换染色质——这被称作“交换”，是自然界动植物多样性的另一个原因。

1910至1940年，摩尔根的团队以及世界各地的许多人一起促使遗传学成为最让人亢奋的科学之一。越来越多的人把基因当作一种实实在在的物质。它位于细胞的染色体上，卵细胞受精后将等量的、分别来自父母的信息传递给后代。经证实，突变是进化的推动力。它们就像穆勒研究的人工手段一样，随机地创造出各种花样。新的遗传学成为进化论的坚定后盾。虽然基因的底细还没有完全被人类摸清，但是再没有人质疑它的存在了。

新的遗传观对社会产生了不良影响。如果没有软遗传，改善饮食、增强运动或从善如流就不会改变孩子的基因，想要优化后代，就只能另辟蹊径。几个世纪以来，畜牧师和植物育种家一直在努力实践达尔文的“人工选择”，培育预期的物种，比如高产的奶牛和多汁的西红柿。1904年，弗朗西斯·高尔顿（达尔文的表弟）建立了“优生”实验室，试图干涉人类的生殖遗传。他首创了“优生”一词，意在表明“好的天分”。如果家庭成员的天资、潜能、邪恶、疯癫或惰性等特征能够表现出来（高尔顿相信一定会），那么就应该鼓励“优”的家庭成员生养更多的后代（正优生学），同时阻止“劣”的家庭成员多生养（负优生学）。正优生学在英国最为普遍，他们鼓励接受过良好教育的中产阶级多生育，因为据说这样的夫妇“优于”普通的劳动者。19世纪90年代末，英国政府对应征入伍、准备去南非参加第二次布尔战争的新兵的体质忧心忡忡。相当多的志愿者体检不合格，他们甚至扛不动枪。1914至1918年，“一战”期间，欧洲战场上发生的惨烈战斗一个接一个。整个西方世界都在担心自己的国民体格。

负优生学更为险恶。很多人理所当然地认为，应该限制精神错乱或“不正常”的人、罪犯、残疾人和其他生活在社会边缘的人生育。在美国，很多州立法强迫这些人绝育。德国纳粹从20世纪30年代起直到1945年在“二战”中战败，犯下了滔天罪行。他们以国家的名义囚禁、杀害了几百万被他们臆断为不适合生存的人——犹太人、吉卜赛人、同性恋、精神病、智力残障者、罪犯，把他们全部赶进集中营或处死。

纳粹使“优生学”成为一个肮脏的词汇。但是，稍后我们将会看到随着科学家对“遗传什么”和“遗传的影响”的理解更加深入，很多人开始相信“优生学”即将正名。人类需要科学，但是我们必须确保它被用作善行。

第35章

我们来自何处？



众所周知，我们的近亲黑猩猩和我们有98%的基因组相同。这个数字有点儿吓人，但黑猩猩与我们还是有本质区别的。首先，虽然它们也交流，但是不会像我们这样说话、聊天。其次，我们能读会写。退一步说，我们发现“人科”的大家族，也就是常说的“类人猿”，是由人类、黑猩猩、大猩猩和猩猩共同组成的。这4者中，我们与大猩猩和猩猩的关系稍微远一些，不过追根溯源，从某种意义上讲我们都是由同一个祖先，从同一支进化而来。那个时间挺久远的，大概是1 500万年前。

我们发现“表亲”类人猿既迷人又带点儿疯癫。那些曾经描写过它们、研究过它们的人也有同感。他们想不明白，这种看起来特别像人类，可又和我们如此不同的粗鲁的动物是从什么地方进入这个世界的。1698年，英国解剖学家爱德华·泰森（Edward Tyson，1651—1708）得到了一具黑猩猩的尸体。他小心翼翼地解剖了这个异乎寻常的动物，并且

将它和人类进行了比对。这是人类第一次近距离地观察黑猩猩。然后，泰森把它放在了亚里士多德的存在巨链上——紧紧贴在人类的下一级。他认为这样合情合理，因为他坚信在人类和其他动物王国之间还有一种动物。在此之前，他虽然没有直接表述，但是建议在存在巨链上补充一个“缺失的环节”，以连接人类和其他动物。

在英国、德国和法国，考古学家挖掘出越来越多的人类手工制品，比如燧石箭头和斧头，这是几千年前人类生活的鲜活物证。这些工具通常发现于洞穴之中或者灭绝动物石化群的化石堆里。很明显，这些绝迹的动物和在石器时代制造了这些工具的人类生活在同一个时代。人类在地球上的历史大概已经有几百万年了……当然，不是人人都赞同这个数字，但是达尔文的朋友托马斯·亨利·赫胥黎（Thomas Henry Huxley，1825—1895）对此深信不疑。1856年，科学家在德国的尼安德谷发现了穴居的尼安德特人，这令赫胥黎兴奋不已。他在自己名为《人类在自然界中的地位》（*Man’s Place in Nature*，1863）一书中提到了这块化石和现代人，以及类人猿。现在，我们知道它是第一块和我们不同种的古人类化石，林奈早就给了我们人类一个生物学的名字“智人”（见第19章）。现在，“古人类”一词代表我们和我们远古的祖先，随着化石证据的增多，这个群体不断扩大。生命之树逐渐枝繁叶茂。

与此同时，赫胥黎冷静地意识到不能以偏概全，所以，他把尼安德特人和现代人归为同类。不过，赫胥黎确认它属于非常古老的人种，他们在地球上有足够长的时间完成进化。虽然尼安德特人和我们极其相似，但终究是不同的，所以在进化过程中肯定发生了很多变化。尼安德特人有突出的眉骨和巨大的鼻腔；四肢和身体的比例也与我们不同；这也有可能是个畸形人的遗体，并非另一个物种。后来我们知道，尼安德特人是第一批会埋葬尸体的古人类。

伟大的赫胥黎对达尔文的人类进化论已经了然于心，接连出版了两本专著，列举了他对先祖的推断和证据。1871年出版的《人类的起源》（*The Descent of Man*，1871）弥补了达尔文在《物种起源》里回避的话

题，它极具说服力地专门论述了世界的人种问题。1872年出版的《人和动物的情感表达》（*The Expression of the Emotions in Man and Animals*）则增加了重要的心理分析作为论据。赫胥黎的书基于对自己孩子日常行为的细致观察，甚至是他们不经意间的微笑和鬼脸。人类和其他所有种类的动植物一样，只是地球生物的一部分。达尔文推测我们的祖先可能生活在非洲，那里是人类开始进化之地。

达尔文把进化描述成一棵“生命之树”，意在说明我们的祖先不可能是现代的猿。但正是这个“猿人”亲戚迅速激起了大众的联想。在英国科学促进协会在牛津举办的一次会议上，达尔文的进化论第一次成为公开热议的话题。这个协会的宗旨是普及最先进的科学知识，每年组织一次例会让科学家们对新理论畅所欲言。1860年的论坛充满了戏剧性，关于“猿人”观点引起轰动。人们热切地期盼着主教塞缪尔·威尔伯福斯（Samuel Wilberforce）带领的反对派和赫胥黎的支持派就达尔文的进化论展开讨论。威尔伯福斯自以为是地质问赫胥黎是不是从祖父祖母的猴群里变出来的。赫胥黎回答说，他情愿自己是从一只猴子变来的，也不愿意浪费自己的时间和精力回答这个愚蠢的问题，威尔伯福斯一败涂地，却仍坚持自己的观点。赫胥黎和进化论成了当天的热议话题。

人类在地球上的悠久历史激励了自然学家、人类学家和考古学家，他们提出一个问题：“人类的原始环境是怎样的？”这时英国和欧洲的洞穴里的发现把“穴居人”带到了世人面前。毫无疑问，这些定居在洞穴里的人已经学会使用火、武器、石器和厨具。人类学家和勘探人员还在非洲、亚洲和南美找到了狩猎族生活过的遗址，这表明每一个人类社会都经历了相同的社会发展阶段。爱德华·伯内特·泰勒（Edward Burnett Tylor，1832—1917）是牛津大学第一位人类学教授。他提出了“遗存”理论，为人类社会和文化进程铺设了一条宽广大道，他指的是社会行为、宗教习惯、迷信和不同的家庭结构。泰勒举例说，这些“遗存”封存在非洲的“原始”人群里，为我们提供了有关人类过去日常生活的线索。泰勒等人希望通过研究手语和其他的交流方式，确定语言的起源。

但是，这位早期的人类学家把“原始”人类一成不变的生活与生机勃勃的欧洲地区、北美地区、澳大利亚和新西兰，乃至历史悠久且复杂的中国文明和印度文明均进行了比较，现在看来这种做法有些傲慢。进化论包含的竞争和奋斗似乎可以解释西方社会的贫富差距。随着工业资本的发展，人们开始用“社会达尔文主义”——人类文明进化理论——分析为什么有人富裕、有人贫穷，为什么有的国家强大、有的国家弱小。社会达尔文主义主张，无论是个体、种族还是国家，都是胜者为王。

在一群人争论社会达尔文主义的时候，另一些人在讨论生物的进化。直到19世纪90年代，所有被挖掘出的人类化石都被当作“智人”看待。尼安德特人还是未解之谜。为此，荷兰人类学家尤金·迪布瓦（Eugène Dubois，1858—1940）前往荷属东印度群岛，到猩猩的领地去寻找人类进化的证据。他在爪哇（今印度尼西亚）发现了一块直立行走的非人类动物的头盖骨化石，并将其命名为“爪哇人”。人们将注意力转向了亚洲，亚洲成为众望所归的人类进化之地。爪哇人的发现和在法国克鲁马努人骨骼的发现引发了关于最初情况的一系列思考：是先用两条腿直立行走还是大脑发育在先？或者是语言和社会生活？

虽然是在亚洲发现了更多的早期古人类，然而20世纪却是非洲证明了达尔文预言的伟大。1924年，澳大利亚解剖专家雷蒙德·达特（Raymond Dart，1893—1988）发现了一块后来被命名为“汤恩小孩”的化石。南非医生罗伯特·布鲁姆（Robert Broom，1866—1951）则把它点石成金。汤恩小孩的牙齿和人类儿童的一样，但是它的大脑却和猩猩的相同，完全不能与人类的大脑相提并论。布鲁姆认为达特发现的化石（包括随后的一些发现，其中有一个成年人）就是人类的远祖。达特称之为“南方古猿非洲种”（*Australopithecus africanus*），字面意思就是“非洲南方古猿”。现代分析认为它的年龄在240万—300万年之间。非洲在“汤恩小孩”后又出土了很多重要的化石，拼绘出人类进化的族谱。路易斯·利基（Louis Leakey，1903—1972）和玛丽·利基（Mary Leakey，1913—1996）的发现让人类的故事更引人入胜了。20世纪50年代，他们的工作主要集中在肯尼亚的奥杜威峡谷，路易斯·利基认为，早期的智

人会制造工具。他把一个生活在160万至240万年前的古人类化石叫作“能人”，意即“手巧的人”。玛丽·利基在20世纪70年代追踪到了一些淹没在火山灰中的脚印。这些脚印是360万年前3个直立行走的古人类留下的，旁边还有一些其他动物的脚印，这证明是直立行走在先，大脑进化在后。

1908年，英国开始挖掘英国南部东萨塞克斯郡的皮尔当采砾坑。1912年，当地的考古爱好者查尔斯·道森（Charles Dawson，1864—1916）宣称找回了一个皮尔当人的颅骨。这件珍稀样品令20世纪头50年的人类化石研究为之一震，世界沸腾了。皮尔当人的颅骨似人，颌骨像猿，看起来完全就是那个丢失的“猿人”环节。很多著名的科学家针对这块奇异的化石发表了论文。但是无论如何，都很难把它与后续出现的新的古人类和古代猿化石对上号。皮尔当人谜团重重，但是在1908年，人们并没有办法验证它的真伪。20世纪50年代早期，碳14测年揭开了这个弥天大谎。测定结果表明，皮尔当人的头颅是人类的颅骨和被锉掉牙齿的猩猩颌骨拼凑出来的，在化学溶液里浸泡后便有了年代久远的样子。没人知道这是谁干的好事——有几个嫌疑人，但都没有确切证据。道森自己的嫌疑最大。

皮尔当人被揭穿是一场闹剧以后，科学家利用同位素年龄测定法测定了其他古人类化石的年代，经过比对他们的身体特征，排列出了大致的顺序。其中化石“露西”值得一提，她带着自己的“生平”介绍辗转各地，成了一位“名人”。1978年，露西发现于埃塞俄比亚，她的身躯大部分保存完好。她生活在300万至400万年前，比“汤恩小孩”老很多。他们同属南方古猿非洲种，但露西是更早的“阿法南方古猿”（*afarensis*）——“遥远的猿类”。露西的双腿、骨盆和脚趾显示，她极有可能已经学会直立行走、爬山和攀岩。她的脑虽然没有现代黑猩猩的大，但大脑和身体的比例已经超过了黑猩猩。（大脑和身体的比例比简单的大小更能说明智能水平：大象的大脑比人的大，但是脑身比例比人小。当然除了大脑的尺寸外，还有诸多衡量“智力”的因素。）露西带有典型的混合特征，不仅有着明显的人类一面，而且成功地保留了她自己的特点。

我们从世界各地成千上万的古人类化石中，清晰地勾勒出了人类进化的历程。我们甚至可以辨别出他们吃了什么，或者他们感染了什么寄生虫。但这幅大拼图缺失了很多碎片，导致细节方面还有诸多争论：这颗牙齿说明什么？腿骨的形状代表什么？不断挖掘出的新化石一定会带来更多的惊喜。2003年，澳大利亚考古学家迈克·摩伍德（Mike Morwood）一行在印度尼西亚弗洛里斯岛寻得了一些小型古人类化石。他们是生活在1.5万年前的未知人种。直到现在，我们也不能确定“弗洛里斯人”（昵称“小矮人”）的准确身份。采用DNA（脱氧核糖核酸）分析（确认生物关系最可靠的方法）也是无果而终。

经研究得出的尼安德特人和现代人的关系，也是激动人心的成果。可以肯定，他们和大约5万年前生活在欧洲的智人是同代人。我们身上携带着他们的基因。难道作为现代人的智人的出现是尼安德特人绝迹的原因？这一点学界目前还不能确定。他们和其他人通婚吗？也许吧。尼安德特人和智人都曾经历了横扫欧洲的极寒，而尼安德特人没能躲过这一劫。

为了利用不同年代和不同区域的化石重新搭建人类的家族之树，我们借鉴了应用在马和河马等动物身上的手段和技术。当然，对待人不能像对待河马那样，这里涉及我们的情感。但是事实摆在那里，古生物学家、人类学家、考古学家等专家一直在收集各种碎片。最终，他们用证据表明，包括智人在内的古人类都源自非洲，并从那里扩散到世界各处。我们对早期古代人类的移民知之甚少。他们是不是曾经多次外迁？是什么强化了人类大脑的发育，并促使我们和近亲就此有了区分的呢？当我们想到远祖的时候，应该铭记科学是用来解释“怎样”而非“为什么”的，正如赫胥黎著作的题名一样，我们要知道的是“人类在自然界的位置”。

第36章

神奇的药物



地球上大概有5×10^{30}种细菌，就是5的后面加上30个零那么多——这是一个让人不知所措的数字。地球上，细菌无处不在：它存在于土壤里、海洋里、深埋地心的岩石上、北极冰里、间歇喷泉的沸水里、我们的皮肤上，还有我们的身体里。细菌做着各种各样有益的事情——想象一下，如果没有它们蚕食垃圾，会发生什么？我们也是它们“消化功能”的受益者。内脏里的细菌帮助我们把食物分解成蛋白质和维生素。有些细菌甚至可以和其他微生物——真菌结合，制成有用的药物。大部分人服用过这类消炎药。

19世纪，科学家发现有些细菌危害无穷，会导致疾病和伤口感染。在第27章，我曾经讲述过科学家认同“微生物”致病理论的过程。而后，他们着手研制既能杀死入侵的细菌又不伤害身体细胞的药物。德国医生保罗·埃尔利希（Paul Ehrlich，1854—1915）说过，这是在寻找“神奇的子弹”。埃尔利希用砷合成了一种治疗梅毒的药，但是在使用的时候必

须慎之又慎，因为它有毒性和严重的副作用。

到了20世纪30年代中期，德国药理学家（药理学是研究药物的学科）格哈德·多马克（Gerhard Domagk，1895—1964）开始采用化学成分——硫黄。他配制出一种叫作“百浪多息”（Prontosil）的合成药，有效地治疗了多种细菌引起的疾病。当时，正赶上他女儿的手感染了链球菌，这是一种引起皮肤感染的恶毒病菌。医生说唯一保全性命的方法是截肢。于是，他女儿成了这种新药的第一个试用者。“百浪多息”成功地消除了炎症，它还可以击退可怕的高烧和产褥热——会令产后妇女致命的细菌感染。自从1936年“百浪多息”的普及开始，这些疾病的死亡率奇迹般地降低了。它和其他磺胺类药品成了医生治疗特定细菌的良药。1939年，多马克获得了诺贝尔奖（但是，那时纳粹政府禁止德国人接受此奖项）。

1945年，由于研制出新药物，又有三个人获得诺贝尔奖。苏格兰人亚历山大·弗莱明（Alexander Fleming，1881—1955）、澳大利亚人霍华德·弗洛里（Howard Florey，1898—1968）和来自德国的避难者厄恩斯特·钱恩（Ernst Chain，1906—1979）一起分享了“抗生素”第一药青霉素赢得的奖项。抗生素由一种能够消灭其他微生物的微生物制成，这种有益于人类的东西可以抑制在自然界之中无处不在的有害微生物。青霉素经天然微生物提纯所得，“特异青霉素”是一种霉，或者说是真菌。在过期发霉的面包上，你会看到一小圈蓝色的真菌。如果你喜欢吃蘑菇，那你无疑就是喜欢吃真菌。我们的星球上估计有150万种真菌。它们有复杂的生命循环，包括孢子阶段，类似于植物的种子时期。如今，抗生素可以出自实验室而不是取自天然，但是基本原理是一样的。

青霉素的故事要从20世纪20年代讲起。就像所有引人入胜的好故事一样，它也有多个版本。其中一个开始于1928年。一天，有一粒霉菌的孢子穿过窗户飞进了亚历山大·弗莱明在伦敦圣玛丽医院的实验室。弗莱明发现，养在培养皿里的细菌接触到孢子以后就停止了生长。他鉴定出这是“青霉菌”的孢子，而后经过深入研究，他向其他细菌学者公布了

结果，但是他不知道怎样恰到好处地利用孢子生成的丰富产物。所以，他只留下了一份潜力无量的实验室报告。

10年后，欧洲陷入第二次世界大战的战火。战争总会引发传染病，士兵和百姓深受其害。定居于英格兰的病理学专家霍华德·弗洛里受命寻找抗感染的特性药。他的助手之一，厄恩斯特·钱恩忙着查阅资料，凡是能找到的资料他都不放过，于是他发现了弗莱明的旧报告。然后，他尝试着提纯了被青霉素菌活化的物质。1940年3月，实验助理诺曼·希特利（Norman Heatley，1911—2004）发现了更好的提取方法。在战乱的困难时期，由于原料有限，他们只好把便盆和奶桶作为盛放培养液的容器。最终，他们获取了一些相对纯净的青霉素，而且小鼠实验证明青霉素对抗感染的效果显著。但是，提纯这种神奇的物质极其困难：1吨青霉素原液只能提取2克药。他们的第一位病人是一名警察，这名警察被玫瑰刺扎到后伤口感染，用药后状况迅速改善。医生过滤他的小便，以便重制药物。可惜药物用尽的时候，他的生命也走到了尽头。

1941年7月，鉴于英国在战争时期没有物力生产足够的青霉素，弗洛里和希特利飞到美国，试图说服美国的制药公司批量生产青霉素。弗洛里是传统的科学家，认为自己这类造福百姓的研究成果没有必要申请专利。但美国人可不这么想。有两家大公司研发了大规模生产青霉素的技术，为了收回投资，他们申请了专利。这意味着任何人都不可以采用他们的生产方法。到1943年，军队和部分市民已经可以使用青霉素。事实证明，它对链球菌、导致肺炎的某些有机体、多种伤口感染和一些性病同样有效。所以，生产者很快就生产了大量青霉素，以确保救治那些有药则活、无药则死的人，尤其是那些浴血奋战的战士。

就在弗洛里团队致力研究青霉素的时候，赛尔曼·瓦克斯曼（Selman Waksman，1888—1973）正在研究细菌本身的抗菌性。1910年，瓦克斯曼从乌克兰搬到美国。他痴迷于土壤里的微生物，发现了它们在土壤里进行的生死之争。从20世纪30年代末开始，瓦克斯曼一直努力从土壤细菌中提取有抗生素作用的物质。他的学生帮助他分离出了一

些有效成分，但都因毒性太大而无法应用于人类。1943年，一名学生提取出“链霉素”。成药的链霉素作用强且危害小，令人惊叹的是，它能够有效对抗肺结核菌，在19世纪那可是疾病里的头号杀手。当时，这种疾病在西方已经没那么常见，但依然在造成损伤。患者通常是年轻人，疾病或使他们的长辈老无所依，或令他们撇下孩子孤苦伶仃。

青霉素和链霉素拉开了抗生素和其他化学药品全面治疗传染病的序幕。“二战”刚结束的几年内，人们非常乐观地相信药物击败甚至根除传染病的能力。在西方，除了类似艾滋病的新型传染病还在蔓延，几乎很少有人死于感染。毫无疑问，20世纪的年轻人比他们的父辈和祖辈过着更健康的生活。

20世纪60年代，如果那些沉浸在喜悦中的人愿意静心回忆一下早期“神药”的故事，他们可能就会明白世上并没有奇迹。这个“神药”就是胰岛素，从20世纪20年代开始被用于治疗糖尿病。糖尿病很可怕，倘若置之不理，患者会日渐消瘦，而且持续口渴、频繁小便，直至身体消耗殆尽，最终陷入昏迷并死去。糖尿病患者多数是年轻人，这种病有时会严重影响他们的寿命。作为一种综合性疾病，糖尿病是胰腺——靠近胃的一个器官——分泌胰岛素的细胞罢工所致。胰岛素是携带化学“信息”的激素，用于维持血液的标准含糖（葡萄糖）量。

青霉素的发现可以说是偶然的幸运，但胰岛素的故事不是，那是一个针对身体功能的、艰苦卓绝的研究过程。科研人员摘除了狗（还有其他动物）的胰腺，随后那些动物患上了类似糖尿病的疾病，由此证明了胰腺的作用。1921年整个夏季，加拿大多伦多大学教授J·J·R·麦克劳德（J·J·R·Macleod，1876—1935）都没有出现在实验室里。年轻的外科医生佛瑞德·班廷（Frederick Banting，1891—1941）和他的实习助手查尔斯·贝斯特（Charles Best，1899—1978）利用这个机会进行了一系列简单的实验。在生物化学家詹姆斯·科利普（James Collip，1892—1965）的帮助下，他们成功地从狗的胰腺中提取了胰岛素。然后，他们把胰岛素注射到没有胰腺的实验动物身上，它们痊愈了。

胰岛素被赞为“神奇的力量”，它直接把这类糖尿病患者从死神的手里抢救了回来。1922年，14岁的伦纳德·汤普森（Leonard Thompson）成为第一个接受胰岛素注射的人。当时，住在医院里的伦纳德体重极低，已经奄奄一息。注射胰岛素后，他的血糖值回到了正常水平，而且体重回升，并最终带着注射器和胰岛素出院了。

一年后，班廷和麦克劳德教授获得诺贝尔奖，他们与贝斯特和科利普分享了奖金。这么快就授奖给他们，说明人们高度认可他们工作的重要性。胰岛素曾经意义非凡。然而，它虽然延长了那些可能命丧黄泉的年轻人的生命，却不能给予他们正常的生活。糖尿病患者要控制膳食、定期注射胰岛素，还要经常测量小便中的含糖量。不过，这总比失去一切强得多。然而10年或者20年后，这些早期的糖尿病患者便开始出现其他健康问题：肾衰竭、心脏病、视力下降和痛苦难忍的双腿溃疡。胰岛素把快速致命的疾病转换成了消磨一生的慢性病。超重的成年人容易患上Ⅱ型糖尿病，这是现在最常见的类型。越来越多的患者忍受着同样的折磨。现代饮食不但含有过多的糖分，而且加工过度，导致肥胖现象蔓延。医学手段采用药物降低血糖，然而其疗效有限，Ⅱ型糖尿病人的余生仍然不可避免地要面对前面提到的诸多问题。药物终究不可能像我们天生的调节系统那样完美地调节体内糖分。

自然告诉我们不能依靠青霉素和其他的抗生素。它们的确效果卓著，但是病菌已经对它们产生了抗体。达尔文发现的“自然选择”适用于整个自然界，所以很多细菌进化出了防御抗生素的本领。葡萄球菌和结核分枝杆菌（它会导致肺结核）就表现出了良好的耐药性。和其他所有的生物一样，有时它们的基因会自己变异并遗传给下一代，以增加它们的存活率。对抗感染就像猫抓老鼠的游戏：人们不断地研制新药，以打击不停地进化出耐药性的细菌。最近，MRSA（耐甲氧西林金黄色葡萄球菌）给我们带来了新的麻烦。金黄色葡萄球菌是我们体表上常见的细菌之一，即使是小的抓伤它也可能引起感染。耐药型的金黄色葡萄球菌，即MRSA极其危险。MRSA在医院里最常见，因为那里大量使用抗生素，幸存的病菌总是具备防御能力。导致疟疾的寄生虫几乎能抵抗所

有的药物。看来，阻挠我们控制疾病的不单单是细菌。

现在我们知道，如果用药的病人没有服用完整的疗程或者剂量不当，都会给耐药性创造可乘之机。乱用药也不行——给由病毒发感染、感冒或者嗓子疼的病人开抗生素就是错误的。（抗生素抑制细菌，但对病毒无计可施。）如果你吞下的抗生素不够杀死病原菌，反倒有可能助长了细菌的进化。在将来，那些细胞可能会招来无法治愈的疾病。

如今，医生有了更多的强效力的药品来解决这些难题。所有的现代药物，比如胰岛素，在发达国家不仅仅用于治病，还常被用来延长人的寿命。事实上，很多发展中国家的预期寿命已经有所提高。但是，严峻的问题依然摆在眼前：并不是人人看得起病、吃得饱饭、拥有洁净的水源和舒适的房子。20世纪90年代起，发达国家之间的贫富差距日益扩大，穷国与富国之间的差距也在加大。这是不应该发生的。

如今，各国加大了对医疗保障的投入，我们有了很多诊断和治疗疾病的精密仪器。而现在研究和测试药物的开销也远比当年研发青霉素大得多。无论如何，我们要尽可能地照顾好自己。不管药物多么神奇，“预防好过治疗”是不变的真理。

第37章

生命的组成



随着时间的推移，科学家转向各自专长的领域发展。按照惯例，生物学家研究生物，化学家研究化学，物理学家研究物理。但是，20世纪30年代有一批化学家，后来又有一群物理学家认为，他们出手解决生物问题的时机到了。当时，人们已经清楚地意识到生物——生物学家的研究对象——是由元素周期表里的化学元素，比如碳、氢、氧和氮组成的。化学正好与物质的合成和相互作用有关，而物理恰好解释了满载着原子和亚原子粒子的物质和能量。难道这不是多了一条理解化学元素的途径吗？简而言之，是不是可以用化学反应和物理的原子结构解释生命体呢？也许我们还能找到科学史上最古老问题的答案——生命是什么？

20世纪头几十年，托马斯·亨特·摩尔根的小果蝇证明，细胞核里的染色体携带着遗传“原料”，在这里使用“原料”这个词十分恰当。遗传学者把这些“原料”的作用分析得很透彻。他们描述了染色体的不同位置会

怎样影响眼睛或者翅膀的发育。他们甚至展示了X射线引发的异形翅膀突变，因为他们相信自己改变了基因。不过他们那时还不知道基因是什么。

蛋白质是基因的原料吗？蛋白质是人体内很多反应的基础。它是分子生物学家系统研究的第一组化合物。正如名字显示的那样，分子生物学是阐述分子在生命体中的化学性质和功能的科学。蛋白质可以算是最大、最复杂的分子，由比它小、比它单纯的化合物——氨基酸组成。大约有20种氨基酸“积木”通过不同的组合“堆积”出动植物体内全部的蛋白质。要了解蛋白质，可以从易到难，先用化学的综合法和分析法检验氨基酸的成分。

至于氨基酸是如何搭配组成蛋白质的，这是一个更棘手的问题。物理学在这里一显身手——仍然是X射线提供了线索。先制出你想研究的蛋白质晶体，再用X射线射击晶体。穿过晶体的射线会弯曲，或者以某种特定的形式反射回去，就像我们知道的衍射一样。感光片便可以捕获这些图像。

这些图像的读取工作难度很大，因为它们就是一片让人眼花缭乱的小点和阴影。你要把看到的平面图想象成立体的，即使戴上一副3D眼镜也帮不上忙。就算你能看出来，还得运用化学知识解释这些元素是怎样连在一起的。当然，你的数学也要很好才行。牛津大学的化学家多萝西·霍奇金（Dorothy Hodgkin，1910—1994）捡起了这块烫手山芋。我们对青霉素、维生素B12和胰岛素结构的掌握要部分归功于她对X射线衍射图的贡献。1964年，霍奇金获得诺贝尔奖。

莱纳斯·鲍林（Linus Pauling，1901—1994）也是使用X射线分解复杂的化合物结构的高手。他和同事通过一系列巧妙的实验发现，哪怕我们的血红蛋白分子上只缺少一个氨基酸，也会患上一种严重的疾病：镰状细胞贫血（这种病症的血红细胞不是正常的圆形，而是月牙形）。这个分子空缺在疟疾流行的非洲最为常见。现在，我们知道那些有这种缺陷的人因祸得福了，因为正是月牙形的细胞防御了最严重的疟疾。他们

只带有父母一方的特点（单个基因，以孟德尔的豌豆实验显示的方式遗传），即轻度贫血，但是远离了疟疾。这是人类进化的实例。继承父母双方镰状细胞基因的人则患有严重的贫血症。镰状细胞贫血的症状早在20世纪初期就已经可以被诊断出来，50年后，鲍林运用新的分子生物技术破译了病情的发展，同时开启了医学的新时代：分子医学。

鲍林取得了对蛋白质的胜利之后，距离摘取基因的分子结构这个最高奖项只有一步之遥了。他的X射线实验证明很多蛋白质都有着特殊的形状：比如生成头发和肌肉的蛋白质以及携带氧气的血红细胞分子的蛋白质，总是缠成旋涡状（螺旋结构）。直到20世纪50年代初期，很多科学家都认为基因是由脱氧核糖核酸组成的，也就是我们更熟悉的DNA。实际上，1869年人们就发现了DNA，但是又花了很长时间去了解它的作用和面貌。1952年，鲍林提出DNA是一条3股缠绕在一起的螺旋形分子——称作“三链螺旋”。

鲍林在加利福尼亚州废寝忘食地工作的时候，英国的两个小组也在马不停蹄地工作着。伦敦国王学院的物理学家莫里斯·威尔金斯（Maurice Wilkins，1916—2004）和化学家罗莎琳德·富兰克林（Rosalind Franklin，1920—1958）投身到分子生物学之中。富兰克林尤其擅长运用X射线晶体学成像进行分析。在剑桥，年轻的美国人詹姆斯·沃森（James Watson，生于1928年）放弃之前对鸟类的兴趣，加入了弗朗西斯·克里克（Francis Crick，1916—2004）的行列。克里克学过物理，在“二战”期间是海军的物理专家，后来作为“往届生”回大学攻读生物学。沃森和克里克是科学史上赫赫有名的跨界名人。

克里克把他用X射线分析蛋白质结构的经验无私地公之于众。他和沃森都知道，在细胞核里的染色体上发现的DNA和30年前摩尔根所指的同为一物。为了直观地体会DNA的结构，他们制作了一个纸模型。受到富兰克林图像的启发后，他们又在1953年年初制作了一个对应所有X射线数据的新模型，他们认为，这一次是完全正确的。传闻，他们在庆功晚会上大声宣布自己揭开了“生命之谜”。

如果当晚和他们一起喝酒的人还有点儿晕头转向，不太理解他们在说什么的话，那么科学期刊《自然》的读者应当能够明白。1953年4月25日，克里克和沃森发表了他们的成果，同期杂志还刊登了伦敦的威尔金斯和富兰克林的论文。克里克和沃森证明DNA是双螺旋结构，而不是像鲍林说的那样。两条链子中间有横挡连接，所以它看起来像一条长长的梯子妩媚地盘旋而上。梯子的支柱是“D”或者叫作“脱氧核糖”的糖和磷酸。每一级梯子的横挡都是一对分子：腺嘌呤与胸腺嘧啶，或者是鸟嘌呤和胞嘧啶，这就是“碱基对”。那么，如果结构如此，那么怎样用它解释生命之谜呢？

连接碱基对的是氢键。细胞分裂的时候，螺旋还没有形成，它们并没有绞在一起。那时的两部分是细胞造就的两个完全相同的链条模板。沃森和克里克就此演示了从父辈到子辈的基因传递和子细胞如何获得与最初的母细胞相同的基因配制。这个解释简洁明了、一步到位。1962年，科学界完全认同了DNA的结构和作用，克里克、沃森和威尔金斯共同获得了诺贝尔奖。官方允许最多三个人分享奖项，但是人们也没有忘记罗莎琳德·富兰克林：1958年，富兰克林死于卵巢癌，年仅38岁。

弗朗西斯·克里克等人知道基因的遗传作用以后，继续寻找它对活体重要意义的根源。基因每天的工作就是合成蛋白质。临近的3个梯级组成“基因密码”，其中每一级（密码子）代表一种氨基酸。氨基酸生成血红蛋白和胰岛素一类的蛋白质。克里克讲解了这些DNA分子上的一小部分物质是如何为氨基酸提供密码的。遗传学者意识到DNA分子碱基对的顺序是关键，因为它决定了哪一种氨基酸参与蛋白质的形成。蛋白质的分子异常复杂，有时包含几十种氨基酸，这时就需要一条长长的DNA序列。

科学家基于对DNA的初步了解，终于明白了摩尔根“蝇室”里的机密。摩尔根一直注视的是整个有机组织的可见特征——在他眼里，就是那些长着普通的白眼睛，或者是那些突变成红眼睛的果蝇。这种肉眼能够看出来的特点被称作“表现型”。此后，科学家开始进入有机组织的另

一个层面，即基因水平的研究——现在被称作“基因型”。

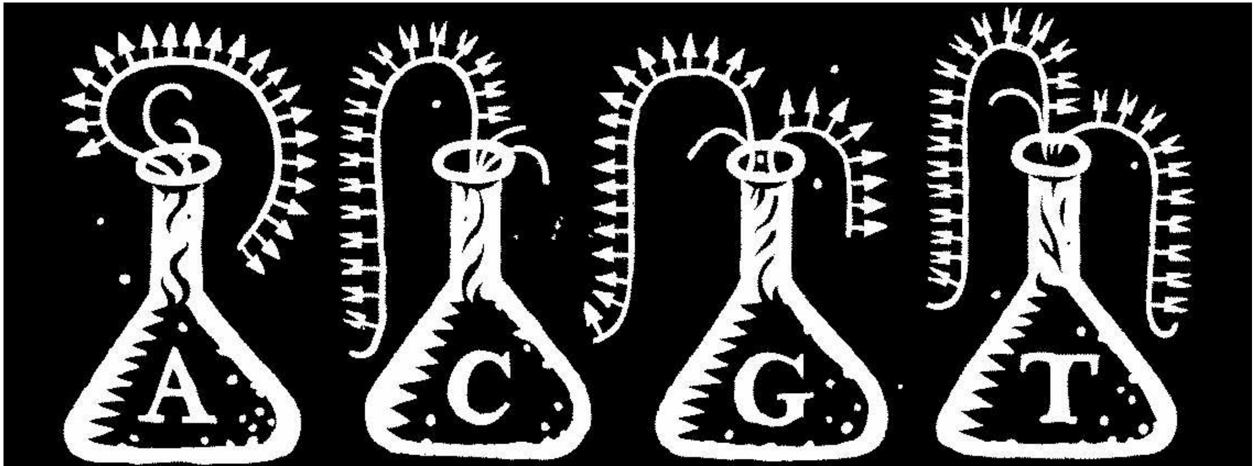
DNA结构的突破是现代生物学的巨大转折点。它证明了生物学家可以读取细胞里分子的内容，而在以前，这些都是化学家的事。现在，人人都想研究它。科学家经过深入研究发现，氨基酸和蛋白质都是在细胞核外的液态状的细胞质里生成的。科学家在观察蛋白质工厂生产过程的同时发现了RNA——核糖核酸。它和DNA类似，但是只有一条链，链上的糖是另一种糖。它是将细胞核里的DNA信息传递到细胞质内蛋白质工厂的重要载体。

分子生物学家改变了我们对病因的认识。他们揭示了蛋白质，比如胰岛素调节血糖的过程；他们对我们最忌惮的现代疾病癌症也有了更深入的了解。虽然所有的癌症都可能扩散成全身性疾病，但是它们也是从单个细胞突变开始的，只不过是在应该停止分裂的时候没有停止脚步。贪婪的癌细胞无休止地消耗体内的营养，一旦侵入重要器官就开始兴风作浪，加重病情。在研发出更好的药品延缓，甚至阻止细胞分裂前，人类当务之急是从分子的角度找出癌症的源头。

在人类这种大型而复杂的动物身上进行如此繁复的研究困难重重，所以很多分子生物学家依靠相对简单的有机体开展研究。大量早期验证DNA和RNA实际功效的研究都是利用细菌完成的，癌症研究的实验对象则是小鼠一类的动物。把研究成果转移到人体也并非易事，不过现代科学遵循的就是这样的规律：从简单到复杂。这个方法帮助我们理解了千百万年来进化的动力。至此，我们终于认识到，主宰命运的小微粒就是DNA。

第38章

阅读“生命之书”：人类基因组计划



人体内大约有2.2万个基因（准确数字还在研究之中）。这是谁说的？是那些参与世界各地“人类基因组计划”的科学家告诉我们的。从事这项伟大工程的科学家利用DNA序列测定统计出了我们的基因数目，回答了克里克和沃森公布DNA结构时遗留的问题。“序列测定”代表的是“位置”，即组成我们基因组的30亿碱基对中的每一个分子在染色体上的位置。我们每一个细胞核里的双螺旋结构上都排列着不计其数的腺嘌呤和胸腺嘧啶、鸟嘌呤和胞嘧啶分子。

如果DNA可以破解“生命之谜”，那么“人类基因组计划”就是要写一本“生命之书”，其内容就是你的基因组。你的一切都和基因有关，包括从头发的颜色到小脚趾的形状，也包括那些难得一见的事：比如子宫里受精卵接到指令后从一个分化到两个、四个，最后长成一个宝宝。基因控制着细胞里制造蛋白质的生物进程，比如调节血糖的胰岛素；激发大脑的化学物质通过神经传递信息。

“人类基因组计划”的预计实施时间是1990至2005年。2000年6月26日，在距结束还有5年时间的时候发生了一件举世瞩目的事：美国总统和英国首相在项目组科学家的陪同下，通过电视直播大张旗鼓地向世界宣布已经勾画出了人类基因组的大致轮廓。两位领导人的出席也表明，破译人类基因组的确意义非凡。

科学家又花了3年时间完善这部生命之书。他们填补空缺、修正错误，终于在2003年大功告成，比原计划提前了2年。与此同时，科学家的工作加快了科学技术的发展，推广了科学方法的应用，尤其提升了计算机在科研方面的辅助功能。

发现DNA之后，基因组项目在接下来的几十年蓬勃发展。1953年，克里克和沃森带来一个重大启示——可以通过“克隆”（复制）DNA，有针对性地提取DNA分子进行研究。20世纪60年代，分子生物学家利用酶和细菌实现了这个理想。酶是一种无所不能的蛋白质，它们不同的结构决定各自的职责，分割DNA是它们的本职之一。被分成一段一段的DNA以独特的方式进入细菌内部。细菌的繁殖速度非常快，新加入的DNA片段随着细菌的繁殖不停地复制。大量的副本，即丰富的克隆产物就是下一步的研究对象。这个过程创造了无数惊喜，而且才刚刚开始。整个细胞都可以像DNA片段一样被克隆。小羊“多利”就是第一只利用成年羊细胞克隆的哺乳类动物。它于1996年出生，2003年死去。克隆技术一路突飞猛进，已经成为分子生物领域最有新闻价值的研究之一。

科学家掌握了大量DNA片段，并着手进行DNA序列测定：排列DNA中的碱基对。这项工作非弗雷德里克·桑格（Frederick Sanger，1918—2013）莫属。桑格是英国剑桥大学的分子生物学家，因确定胰岛素的氨基酸序列而获得了1958年的诺贝尔奖。

氨基酸和DNA的主要区别之一就是DNA分子太长，携带的碱基对比蛋白质含有的氨基酸多很多。而且，氨基酸个体化学特征突出，DNA却貌似相同实难区分。桑格结合自己和他人的经验，利用放射手段、化学方法和酶成功地截取了一小段DNA链。他借鉴各种生物化学法分离出

腺嘌呤、胸腺嘧啶、鸟嘌呤和胞嘧啶，并证明它们是化合物，在化学和物理属性上存在细微差别。其中电泳法取得的效果最明显。

桑格团队对DNA片段进行了反复的实验和数据对比，力求实验结果精准有效。整个过程漫长而枯燥。他们观察了无数截断链的起点和终点后，终于拼接成一条长链，绘制出了实用的DNA序列。1977年，桑格团队首次成功地识别一个生物的基因组——不起眼的噬菌体phi X 174。它是可以浸染细菌的病毒，是分子生物实验室的常客。1980年，桑格再获诺贝尔奖，这彰显了他的工作的重要意义。

下一个目标基因组还是停留在实验室里。尽管困难重重，分子生物学家还是持之以恒地编绘着DNA序列。今天的计算机创新有助于增强对断链基础结构的分析，科学家噼噼啪啪地敲击着键盘，他们知道只有准确定位生物的基因和每种基因生成的蛋白质，才能从受精卵到成体一个细胞一个细胞地破译形成生物的最基础物质。

果蝇显然是实验的候选对象。1950年前，托马斯·亨特·摩尔根小组已经对它们的遗传模式进行了大量研究，并且完成了初步的基因定位。另一个备选是小蠕虫“秀丽隐杆线虫”。它只有1毫米长，却有959个细胞和简单的神经系统。现在，怎么看它都不像宠物，但是西德尼·布伦纳（Sydney Brenner，生于1927年）却偏宠它很多年。1956年，布伦纳从南非走进剑桥大学的分子生物学实验室（LMB）。从20世纪60年代开始，布伦纳一直专注于秀丽隐杆线虫的研究，因为它的细胞很好观测，他有信心准确地判断出即将发育成个体的胚胎细胞。他希望由此揭示蠕虫的基因组，这样他就可以用基因解释成年蠕虫的生理机能了。

在研究过程中，布伦纳和他的团队通过观察细胞的日常活动大受启发。细胞有一项不可回避的重要工作：在该死的时候死掉。动植物不停地生出新细胞：回忆一下，你长时间泡在浴缸里时皮肤的样子。我们要去除死皮，让皮肤底层新鲜活跃的细胞取而代之。生物的生死完全是自然规律，基因则掌控着整个进程。这也是癌细胞之所以可怕的原因：这些细胞不知道自己应该在什么时候死去。现代癌症研究的关键环节之

一，就是设法唤醒基因去命令细胞停止分裂。布伦纳和他的两名同事对微小蠕虫的研究取得了出色的成绩，因此于2002年获得诺贝尔奖。

那时，他们的同行约翰·苏尔斯顿（John Sulston，1942—2018）带领一支英国小组加入了“人类基因组计划”，这是现代科学的旗舰项目。首先，它的参与人数过千，经费预算庞大。现代科学家很少从头到尾参与一个项目，人们对一篇科学论文有超过几十甚至上百人署名早已司空见惯。某项研究可能会吸纳各行业的专家参与。威廉·哈维孤独地盯着心脏，或者拉瓦锡和妻子在实验室里相依相伴的时代已经一去不复返。人类基因组的序列测定是若干实验室以信任为前提的合作项目。首先，在各组之间分配染色体，然后各组严格按照同样的标准进行排序。电脑分析过无数多的DNA片段后，再把它们按顺序排成一队。运营这些实验室需要强大的资金支持。在美国，是由国立卫生研究院（NIH）和各地的公立实验室出资。在英国，则是起先由政府拨款，后由资金雄厚的私人医学研究慈善机构——英国惠康信托基金会（The Wellcome Trust）接替。在法国和日本，官方也主办了一些小型实验室，这个计划真正实现了国际合作。

其次，这个计划没有电脑就无从下手，事实上，现代科学根本离不开电脑。科学家面对每一段DNA就相当于面对海量信息，他们需要找出每一段链的起点和终点。人类无法胜任的工作，对电脑来说只是举手之劳。现在，很多科研机构雇人是为了操作电脑和程序，而不再是照顾果蝇和试管了。

再次，现代科学是投入大、收益高的大买卖。“人类基因组计划”一度成为政府资助团体和美国企业家克莱格·文特尔（Criag Venter，生于1946年）的私人公司的争夺对象。文特尔是一个睿智的科学家，他帮助开发了加速DNA序列测定的一些仪器。他立志成为第一个解码人类基因组的人，他还打算申请专利，收取科学家和制药厂的信息费。不过，最后他妥协了。人类基因组是无条件公开的，不过有些应用这些信息的方法是可以被注册的，成品药物或诊断测试也可以明码标价。所以，现在

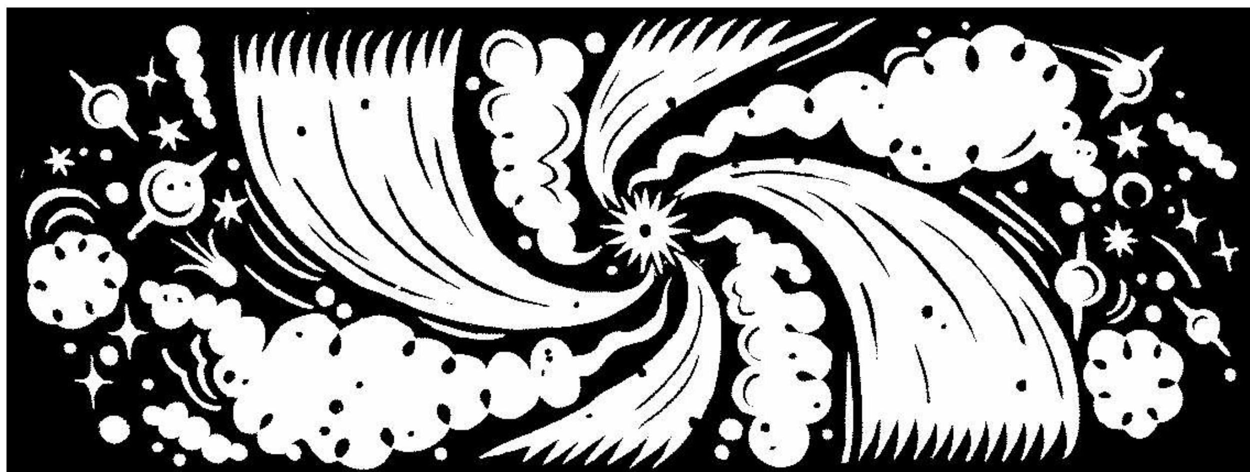
有人花钱购买自己的DNA序列，希望能够预知疾病、保持健康。

最后，不得不提的是，当今的重点科研总是被一些“瘴气”困扰，“人类基因组计划”就是一个活生生的例子。科学家为了争夺有限的资金，有时会把自己的研究成果夸得天花乱坠；舆论大肆宣扬他们的事迹，无限放大他们头顶的光环，可正常的科研不是新闻炒作。记者们不断用新发现或新突破激发公众对治愈疾病的希望，但是大多数科学成果的意义要经过长时间的检验才能显露。没错，知识领域的突破每天都在上演，人们也总在有条不紊地试用新的疗法，但是科学本身不能一蹴而就，媒体的宣传很少能踩到点子上。

无论如何，读懂人类基因组是巨大的成就，会令我们更准确地理解疾病和健康。迟早，它会帮助人类研制出对抗癌症、心脏病、糖尿病、痴呆和其他现代疾病“杀手”的药物。我们终将得益于这项众多国家和诸多领域的科学家共同参与的、具有深远意义的工程，过上更加健康的生活。

第39章

宇宙大爆炸



假设有人制作出了一部关于宇宙历史的电影，把它倒着放会呈现出怎样的景象呢？在大约50亿年前，地球就会消失，因为我们的行星可能就是在那时以太阳系的残骸碎片为材料形成的。再往前追溯呢？那便是宇宙大爆炸——大爆炸的威力和热量在138亿年后仍能感觉得到。

至少，从20世纪40年代开始科学家就是这么推测的，而且他们越来越自信。宇宙源于一个点，它炙热和致密得难以想象，然后突然就爆炸了。从那一刻起，它开始慢慢地冷却和膨胀，在这个点的外围形成星系。我们的宇宙是一个充满活力和激情的地方，人类在其中是最小的小不点儿。宇宙包括行星、恒星和彗星组成的可见星系；还包括很多看不见的天体和能量，比如黑洞，比如更多的“暗物质”和“暗能量”。

那么，大爆炸真的可以解释宇宙的起源吗？那时，可没有人打开摄影机。大爆炸之前发生了什么？就现在而言，这些问题都不可能找到确

切的答案。它们涉及很多前沿物理学和宇宙学。这个话题人们讨论了半个多世纪，到现在还是众说纷纭。

1800年左右，法国的“牛顿信仰者”拉普拉斯提出了“星云假说”（请参阅第18章）。他的主要论点是太阳系最初是一片巨大的气云。很多人接受了这个说法，相信地球的悠久历史可以解释诸如地热、化石等其他地质特征。到了19世纪，很多科学家热血沸腾地围绕着地球和银河系的年龄而争辩。而在20世纪初的几十年间，两大进展彻底扭转了话题。

第一个是爱因斯坦的“相对论”对时间和空间的重要解释（见第32章）。他强调这两样东西有割不断的联系，它们是“时空”。他给宇宙增添了一个新的维度。爱因斯坦同样用数学方法证明了宇宙是弯曲的，欧几里得几何学并没有对广袤的空间做出恰如其分的说明。欧几里得的宇宙是平的，是永不相交的平行线。没错，他的世界在一个平面里，三角形的内角和总是180度。但是如果在一个球体上或一个弧形面上测量三角形，它就不是180度了。所以，如果空间本身就是弧形的，我们就必须换一种数学方式考虑问题了。

爱因斯坦的天才论述所揭示的真理，启发了物理学家和天文学家的新思路。爱因斯坦带来的主要是理论革命，而由天文学家带来的第二个进展则不再是纸上谈兵。它紧密依靠观察，尤其是美国天文学家爱德温·哈勃（Edwin Hubble，1889—1953）的观测成果。1990年，美国发射了一枚以哈勃的名字命名的、在轨道上环绕地球的空间望远镜。至今为止，哈勃空间望远镜传回的数据远远多于他通过望远镜在加利福尼亚威尔逊山天文台所看到的。在20世纪30年代，哈勃是看得最远的天文学家。他宣布银河系不是宇宙的边界，而是多得数不清的星系中的一员。宇宙的边界远远超出了望远镜的观测范围。

宇宙学家同样记着另一个和哈勃有关的数字，这也是以哈勃名字命名的一个常数。（你应该能想起类似的“普朗克常数”。）当光线离开我们的时候，我们最后看见的是光谱中的红色，称作“红移”；相反，当光线靠近我们的时候，光波扫过的是光谱的另一端，称作“蓝移”。它和火

车的轰鸣声来去不同是一个道理，这对于天文学家来说很好把握。哈勃看到来自遥远星系的光是红移的，并且星系越远，它的光的红移越大。他意识到，这说明它们在离我们远去，走得越远，速度越快。宇宙在膨胀，而且似乎在加速膨胀。哈勃测量了从星系到红移范围的距离，图标显示出它是一条笔直的线，并由此得出了“哈勃常数”。1929年，它在哈勃一篇重要的论文中亮相。这个神奇的数字是天文学家计算宇宙年龄的工具。

从此以后，哈勃常数不断被修正。我们观测到了更远的星系，得出更准确的红移数值。有些星系离我们好几百万光年远。一光年大约是9.5万亿千米，一束阳光只要8分钟就可以到达地球。如果这束光返回太阳，则可能在1年内往返32 000多次——换一种方式帮你感悟距离的遥不可及和时间的悠远绵长。我们在夜空中看到的某些星光，其实是现在已经消失的星系在很久以前发出的。我们必须首先知道那些遥远星系和我们之间的准确距离，才能体现哈勃常数的真正价值。尽管有这些约束，我们也不能忽视它的重要性，它为我们提供了星体运动距离的参考值，进而给出了宇宙的年龄——从大爆炸那一刻算起。

20世纪40年代，乔治·伽莫夫（George Gamow，1904—1968）推广了大爆炸理论。伽莫夫是出生在俄国的物理学家，在20世纪30年代早期去了美国。他富有奇思妙想，一生活得多姿多彩，对分子生物学、物理学和相对论均有独特见解。他和一名同事在微观层面探究了原子核发射电子（β粒子）的方式，并大范围地观察了星云的形成——它们是聚集热粒子和宇宙尘埃的大云团。从1948年开始，伽莫夫与人合作研究大爆炸，他的理论以最小的原子成分为基础，结合了对宇宙最初模式的猜想。

我们先说说成分：粒子和作用力。在20世纪40年代后期，这个物理学分支有了自己的名字“量子电动力学”，简称QED。美国物理学家理查德·费曼（Richard Feynman，1918—1988）是这个理论的创始人之一。他是一位名人，不仅因为他用图表解释理论和数学（有时将它们画在饭

馆的餐巾上），还因为他会演奏动人的手鼓。量子电动力学为描述更小的粒子和它们之间的作用力提供了严谨的数学方法。费曼因此获得了1965年的诺贝尔奖。

“二战”结束后，粒子物理学家继续提高粒子加速器的效率，把原子乃至粒子加速到更高的速度进行研究。加速器能够把原子分解成亚原子粒子，这和大爆炸后瞬间上演的情景正好相反：在大爆炸后，即将组合成物质的“砌砖”迅速冷却成形。从粒子到原子、从原子到元素，砌砖逐渐变大，直到组成行星和恒星。

爱因斯坦的质能关系等式$E=mc^2$告诉我们，如果加速器以接近光速的速度运转，质量将置换出最高的能量。物理学家发现飞速运转的粒子神通广大。加速器中出现了一种没有变化且不带有任何结构的电子，它就是粒子作用力家族的成员——轻子。质子和中子都是由更小的粒子——“夸克”组成的。夸克以多种形式存在，每一个夸克都带有电荷，三个一组聚合成中子或者质子。

宇宙中有4种基础“力”，解析它们之间的相互关系是20世纪最值得期待的课题之一。其中引力最弱，但它无处不在。我们从接受“牛顿的苹果”开始研究引力，直到现在也没把它研究透。电磁力涉及很多自然领域。它控制原子内的电子按照轨道运行；它每天以光的身份带给我们太阳安好的消息。即使在原子内也有“强”和“弱”两种“核力”，它们共同约束原子核内的粒子。

现在，我们暂且把引力放在一边，来看一种特殊粒子互换时产生的其他力。这种粒子被称作“玻色子”，是力的媒介，爱因斯坦的“光子”是电磁力的玻色子。不过，最出名的玻色子当属隐身的“希格斯玻色子”（the Higgs Boson）。粒子物理学家认为它是其他粒子的质量之源，找到它就可以找出大爆炸之后粒子即刻获得质量的方式。他们从20世纪60年代开始搜寻，直到2012年才宣布在世界最大的粒子加速器（LHC）上捕获了它。LHC位于瑞士日内瓦附近，于1998至2008年由欧洲核子研究组织（CERN）建造。CERN成立于1954年，是欧洲多国共同经营的

科研企业，旨在满足物理研究的资金、科学家、技工和设备的大量需求，为实验运作和分析提供充足的人力和物力支持。

“标准模型”理论囊括了引力之外的一切力，希格斯玻色子是它极其有用的一部分（但不是最后一部分）。如果标准模型是正确的，也许下一步就可以运用“弦理论”来分析所有这些力和粒子的路径，并把它推而广之发展成为“万物理论”。弦理论以自然的4种力是在一个平面振动的“弦”的假设为前提，需要非常繁复的数学演算。这个工程还在酝酿之中。

微观粒子物理包含的很多东西很难和普通人的世界建立联系，但是科学家却发现它们在核能、电视、电脑、量子计算和医疗检查设备等方面有越来越多的用武之地。现在，大爆炸理论已经从我们看得见的太空走向看不见的地方，所以除了日常生活中这些重要的应用之外，还有更多的知识需要我们去挖掘。

20世纪20年代，苏联物理学家亚历山大·弗里德曼（Alexander Friedmann，1888—1925）是第一批眼疾手快地抓住爱因斯坦的广义相对论，并通过数学方式解释宇宙的科学家之一。他的“弗里德曼方程”为宇宙膨胀提供了依据，他在思考这是否和我们身处地球有关。地球是特意为我们准备的领地，难道也为我们提供了一个观察宇宙的独特之地？他的回答是否定的，根本不是这么回事。我们在地球上完全是一个巧合。如果我们待在其他的星球上，距离地球几光年远的地方，也和在这儿没什么两样，这就是弗里德曼的宇宙观。从中，我们可以领悟出另一个重要的观点：物质均匀地分布在宇宙之中。当然存在地区差异——地球的大气层比周围的星球密实得多，但在整个宇宙中这条原则是正确的。现在，天文学家还在大量依靠弗里德曼的宇宙模型进行探索。他们同时还要应对“黑洞”和“暗物质”等神秘现象。

曾经有两名英国皇家学会会员在18世纪探讨过“暗星”。现代数学天才罗杰·彭罗斯（Roger Penrose，生于1931年）和理论物理学奇才斯蒂芬·威廉·霍金（Stephen William Hawking，1942—2018）给了它一个现代

的名字——黑洞。霍金在退休前一直担任英国剑桥大学卢卡斯数学教授，此教席曾由艾萨克·牛顿担任。他们两人异口同声地说，黑洞是人们看不见但稍加想象就能明白的东西。太空中解体的恒星逐渐缩小、剩余物质越缩越紧、引力增强到了极限，最终可以阻止光子进入，形成黑洞。

事实上，宇宙中有很多超级黑洞。研究人员在智利用望远镜追踪16年的银河系“人马座A*”于2008年被证实是一个巨大的黑洞。由德国人莱因哈德·根舍（Reinhard Genzel，生于1952年）带领的天文学家观察了星系中心黑洞外的星系轨道。因为我们和黑洞之间距离2.7万光年，其间遍布恒星尘埃，所以他们使用红外线进行观测。

这些超级黑洞可能影响了星系的形成，也可能涉及我们不能直接看到的其他空间：暗物质。科学家认为暗物质占据宇宙的绝大部分——几乎80%是暗物质——而可见的行星、恒星加上气体和太空尘埃一共占4%。20世纪30年代，科学家开始考虑用暗物质解释宇宙中诸多出乎意料的表现。他们意识到可见物的质量和引力效应不符：这里一定是少了些什么。20世纪70年代，天文学家薇拉·鲁宾（Vera Rubin，1928—2016）绘制了恒星在星系边缘移动的图表。图表显示，恒星的运动速度比我们预想的快。但是传统理论认为，它们的速度应该在远离中心的过程中慢下来才对。由此人们推断，是暗物质提供了恒星提速需要的额外引力，这间接证明了暗物质的存在。现在，科学家接纳了暗物质，但仍没有破解它的身份之谜——留给未来去发现或证实吧。

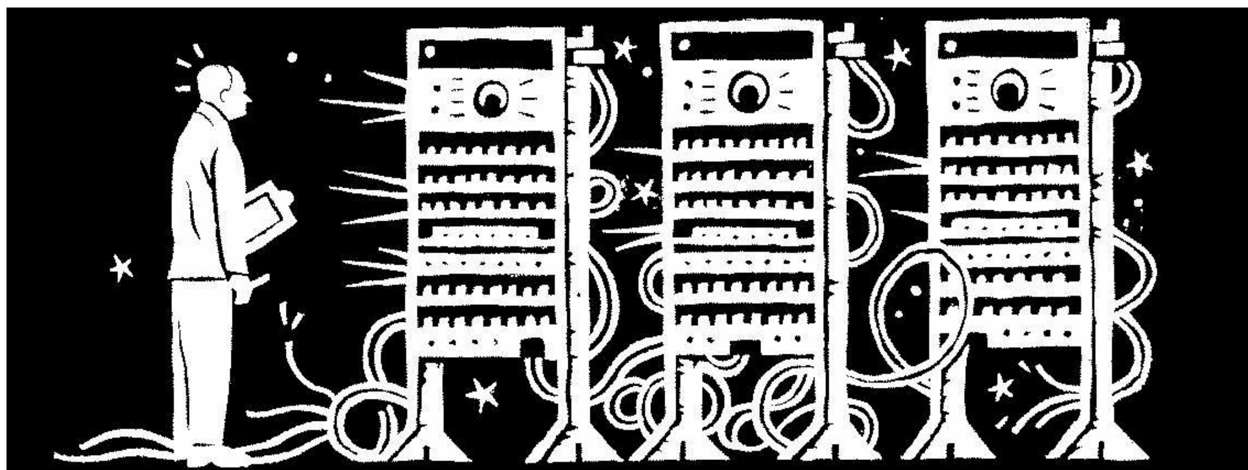
现代天文学从爱因斯坦的相对论中走来，它以不计其数的观测、计算机数据分析和伽莫夫的大爆炸理论为基础。大爆炸就像所有优秀的科学理论一样，从1948年开篇之后几经修正。实际上，物理学家在初闻该理论之后的20年里几乎没有考虑宇宙的起源问题。大爆炸理论必须与天文学家弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle，1915—2001）倡导的“稳恒态”宇宙模型一决高下。霍伊尔的理论在50年代拥有一批支持者，他们认为宇宙无限，新物质的产生源源不断。在这个模式里，宇宙既没有起点也没有

终点。最后，稳恒态理论在诸多质疑中结束了它短暂的科学使命。

物理学家已经通过粒子加速器了解了短命的粒子和相互作用力。他们在遥远的太空设立了观察站。虽然他们具备了完善大爆炸理论的能力，不过在细节甚至在某些基本原则上还有很多分歧，而对科学而言，这都是家常便饭。大爆炸模型开启了很多可供实践的科学思路，包括星系红移、宇宙背景辐射和基本原子力，同时它也适用于黑洞和暗物质，不过它没有解释“为什么”会发生大爆炸。退一步而言，科学论述的内容是“怎么样”而不是“为什么”。有些物理学家和宇宙学家有宗教信仰，有些则没有，在整个科学领域都是这样。事情本该如此，因为只有包容才能孕育最好的科学。

第40章

数字时代的科学



你一次次打开计算机（日常生活中我们把它叫作“电脑”）可能已经不是为了“计算”而用，你可以用它查查资料、发发邮件，或者看看最新的足球比赛。但是，最开始它就是一台比人脑计算得快一点儿、准一点儿的“做计算”的机器。

虽然我们把电脑看作前沿科技的产物，但事实上有关电脑的思路由来已久。19世纪，英国数学家查尔斯·巴贝奇（Charles Babbage，1791—1871）制造了一台能够按照“设计”完成一些演算小把戏的机器。比如，他编好了一个程序，从1开始一个数一个数地数到1 000 000，然后突然跳到了1 000 002。凡是耐心地看着数字从1累积到1 000 000的人，看到错误的报数都大吃一惊。巴贝奇的目的就是要告诉大家，他的机器可以做出一些打破常规的事。

19世纪末，美国数学家赫尔曼·霍尔瑞斯（Herman Hollerith，1860—1929）发明了一台可以通过打孔卡大量分析数据的电子设备。如果卡

片上的孔符合机器要求，卡片插进机器以后就可以被“阅读”。霍尔瑞斯的机器能够高效地统计出收入、家庭人数、年龄和性别等基础数值，有效地采集乃至分析了人口数据，帮助政府获得了更多信息。直到“二战”爆发，多数计算机的主要功能便是分析打孔卡。

“二战”期间，计算机开始为军事服务。它们能计算炮弹射程、破译敌军密码，功勋卓著。为了加强战时安全，德国、英国和美国全部使用了计算机。最初只是少数拥有最高安全权限的人才可以使用计算机；而现在它为每一个人打开了通往世界的大门，这实在是一个鲜明的对比。

英国和美国利用计算机分析德军密电。英国人破解德国人密码的核心力量集中在白金汉郡一所叫作布莱奇利园的老宅子里。德国人有两种密码机：恩尼格玛密码机和洛仑兹密码机。他们每天变换密码，因此解码机必须具备极强的转换能力，为此英国设计了“炸弹”和“巨人”两款破译机器。“巨人”名副其实，它们就是巨大的进行计算的机器，不但占据整间屋子，还超级费电。这些计算机装有一系列转换电子信号的真空管。由于真空管时常因为过热而罢工，所以为了便于更换烧坏的部件，他们在管子之间留下宽松的间隔，这也给昆虫创造了可乘之机。那时所说的“调试”可不是运行软件的意思，而是指进去清理飞蛾和苍蝇。它们飞进了发热的玻璃管，造成系统短路。解码机使得战争得以提前结束，帮助盟军取得了胜利，功不可没。

布莱奇利园里有一位杰出的数学家：阿兰·图灵（Alan Turing，1912—1954）。20世纪30年代早期，他在剑桥大学国王学院的时候就显示出了过人的才华。他发表了有关计算机数学的重要理论，在布莱奇利园的工作也是出类拔萃。战后，图灵继续研究计算机。他对人类大脑运转和电脑系统的关系有深刻的见解，他洞悉到了“人工智能”（AI）的诞生，他还发明了可以下棋的机器。虽然人机对战的时候棋艺大师赢多输少，但是论起妙手奇招还是机器更胜一筹。图灵开发了伦敦特丁顿英国国家物理实验室早期的电子计算机“ACE”，使它具有了更强的计算能力。但是图灵的生命却以悲剧结束。他是同性恋，那时的英国还不能接

受这种关系。警察逮捕了他，并用激素“治疗”他的性取向。有证据表明，图灵吃下了浸有氰化物溶液的毒苹果自杀身亡。他的一生和死亡警醒世人：任何种族、性别、宗教和性取向的人都可以成为出色的科学家。

战争期间建造的大型计算机用起来得心应手，但受限于经常会过热的真空管。此时有一项发明带来了无限生机，包括对计算机的改变：晶体管。1947年年底，约翰·巴丁（John Bardeen，1908—1991）、沃尔特·布拉顿（Walter Brattain，1902—1987）和威廉·肖克莱（William Shockley，1910—1989）成功地研制出了这种可以放大和调试电子信号的元件。晶体管比真空管体积小、散热快。它可以组装于各种设备上，比如小巧实用的晶体管收音机。他们三人一起被授予诺贝尔物理学奖后，巴丁又攻克了半导体收音机和现代电路所需的“半导体”，并再次获得诺贝尔奖。

军方即使在1945至1991年的冷战时期也没有耽误对计算机的研究。美国和苏联两大超级强国虽然曾在“二战”中结成联盟，但互不信任，它们用计算机分析搜集来的对方活动数据。计算机不断提高的数字处理能力对科学家而言，也是如虎添翼。20世纪60年代，物理学家竭尽所能地运用了这些新型的、日趋完备的机器。若是没有它们，高效率的粒子加速器产生的大量数据对于手握铅笔和草稿纸的一群人来说就是天方夜谭。

辽阔的科学领域迎来越来越多的计算机专家，他们的工资和设备被纳入研究经费，所以人们有足够的理由去设想用电脑间的交流取代面对面的沟通。毕竟，电话已经普及了100多年，电报则更久远。20世纪60年代初，一种“数据交换包”应运而生。数字信息被分成若干小组，每个小组选择最便捷的路径到达接收端的计算机后再被重新组合。你在有线电话上说话的时候是真的“在线”，没人能把电话打进来。但是如果你在电脑上发送或者接收信息——一封邮件或者一条网站上的消息——任何人在任何时间都可以看到它。

美国和英国对数据交换包的研究可谓并驾齐驱。作为维护国家安全的工具，它要确保军方和政要间的无障碍沟通，即使某些通信设备被毁，它也必须正常运转。数据交换包通过“网络化”简化了计算机组的连接。科学家是除军方以外最早的使用者，现代科学由此获益良多。20世纪60年代，电脑变得更小、更快，学术团体可谓是近水楼台先得月。不过，与现在的电脑相比，它还是太大、太慢、太昂贵。不过你大可放心，用它打电子游戏也没问题，这种乐趣早就有了。到了70年代，计算机进入提速时代。此时的电脑——曾经被称作“微型计算机”或微机——加上屏幕和键盘，小到可以放在一张桌子上。随着芯片功能越来越强大，个人电脑迅速普及。这方面的绝大多数研究是在美国加利福尼亚州的硅谷完成的。

电脑不断地改变着学术团体的运作和交流方式。世界上最大的物理学家聚集地之一——欧洲核子研究组织安放着世界最快的粒子加速器——大型强子对撞机（参阅第39章）。那里的电脑专家在20世纪八九十年代通过网络和数据分析，创造了新的科学高度。蒂姆·伯纳斯-李（Tim Berners-Lee，生于1955年）是其中一员。他的父母都是电脑先锋，电脑伴随着他成长，所以他迷恋电脑。伯纳斯·李在牛津学习物理后加入CERN。1989年，他申请了“信息管理”研究资金。CERN的领导层为他提供了支持，但是他坚持要实现自己的理想——让所有人都可以通过一根电话线，在电脑上轻松地获取互联网日益增长的信息。他和同事罗伯特·卡里奥（Robert Cailliau，生于1947年）联手研发了万维网。一开始，万维网只在CERN内部的一两个物理实验室里试用。

1993年，万维网走向公众，那时正好赶上个人电脑需求的迅速增长。从此万维网不仅是办公必备，也是家庭必需的配置。微软的比尔·盖茨（Bill Gates，生于1955年）、苹果的史蒂夫·乔布斯（Steve Jobs，1955—2011）等都是现代科学的精英（当然，他们也都变得非常富有），他们领导了这场个人电脑的革命。所以，1955年理应是属于电脑的好年景：伯纳斯·李、盖茨和乔布斯都在那一年出生。

20世纪70年代，电脑的飞速发展正好遇上了基因组测序方法的创新，这不是巧合。现代科学离不开现代化的电脑，很多基础的科学问题的研究，从研制新药到总结气候变化规律都要依靠这些设备。在家里，我们用它写作业、预订门票、打游戏。嵌入式计算机系统可以驾驶飞机、辅助医学影像处理，也可以洗衣服。就像现代科学一样，现代生活也是建立在电脑应用的基础之上的。我们没必要对此大惊小怪。我在这本书中想要说明的一件事就是，无论在历史的哪一个阶段，科学只是特定时代的产物。希波克拉底的时代和伽利略、拉瓦锡的时代不可同日而语。他们的衣着、饮食和思想都有那个时代的特征。本书中提到的人比他们同时代的大多数人都更加才思敏捷、擅长表达，这就是为什么他们的思想和文字值得铭记。

是的，当今的科学前所未有的强大。电脑是罪犯和黑客的有力工具，也是科学家和学生的得力助手。科学和技术既可以轻易地为善，亦可以作恶。我们需要优秀的科学家，同时我们也需要有良知的人来确保这一点：科学是为了使我们的世界更加美好。